



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWBCBRR]



ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LA FASE 3 DEL VERTEDERO DE BISTIBIETA, T.M. DE LEMOA (BIZKAIA)



DOCUMENTO I: MEMORIA

IA25015-EST1
SEPTIEMBRE 2025

Firmado digitalmente:

Guillermo Bernal Martínez

Director

Geólogo, Colegiado ICOG nº2.226

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	10
1.1	OBJETIVO Y ALCANCE.....	10
1.2	EQUIPO DE TRABAJO	10
1.3	COMPETENCIAS.....	11
1.4	INDEPENDENCIA, IMPARCIALIDAD Y CONFIDENCIALIDAD	11
2	ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO	12
2.1	DOCUMENTACIÓN ANALIZADA	12
2.2	CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN (2023)	12
2.2.1	SONDEOS MECÁNICOS.....	12
2.2.2	TOMA DE MUESTRAS	14
2.2.3	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	14
3	GEOLOGÍA Y HIDROGEOLOGIA	16
3.1	MARCO GEOLÓGICO.....	16
3.2	LITOLOGÍA.....	18
3.3	TECTÓNICA	18
3.4	GEOMORFOLOGÍA	19
3.5	SISMICIDAD.....	19
3.6	HIDROGEOLOGÍA.....	22
3.6.1	ENCUADRE HIDROGEOLÓGICO	22
3.6.2	INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA	23
3.6.3	VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS	23
3.6.4	PERMEABILIDAD	24
3.6.5	NIVEL FREÁTICO.....	25
4	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	26
4.1	INTRODUCCIÓN.....	26
4.2	GEOMETRÍAS DE CÁLCULO.....	26
4.2.1	INTRODUCCIÓN	26
4.2.2	ESTUDIO DE LA SECCIÓN LONGITUDINAL	26
4.3	PARÁMETROS DE CÁLCULO DE LAS UNIDADES GEOTÉCNICAS DIFERENCIADAS.....	27
4.3.1	INTRODUCCIÓN	27
4.3.2	SUSTRATO ROCOSO	28
4.3.3	IMPERMEABILIZACIÓN	28
4.3.4	RESIDUOS	29
4.3.5	DIQUE.....	30
4.3.6	RESUMEN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	30
4.4	NIVELES PIEZOMÉTRICOS CONSIDERADOS.....	31
4.5	SISMICIDAD.....	31
4.6	MODELO DE CÁLCULO.....	32
4.6.1	SOFTWARE DE CÁLCULO	36



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



5	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	43
5.1	INTRODUCCIÓN.....	43
5.2	ESCENARIOS DE CÁLCULO CONSIDERADOS	43
5.2.1	SITUACIÓN NORMAL	43
5.2.2	SITUACIÓN ACCIDENTAL.....	43
5.3	FACTORES DE SEGURIDAD ADOPTADOS	44
5.3.1	FACTORES DE SEGURIDAD CONFORME A LA AUTORIZACIÓN AMBIENTAL INTEGRADA.....	44
5.3.2	FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS.....	44
5.3.3	FACTORES DE SEGURIDAD CONFORME AL MINISTERIO DE TRANSICIÓN ECOLÓGICA.....	45
5.4	TIPOLOGÍA DE LAS SUPERFICIES DE DESLIZAMIENTO ANALIZADAS	46
5.4.1	SUPERFICIES DE DESLIZAMIENTO POR ELEMENTOS FINITOS	46
6	SLIDE – ANALISIS DE ESTABILIDAD POR EQUILIBRIO LIMITE.....	48
6.1	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SEGÚN PERFIL A-A´	48
6.1.1	SITUACIÓN NORMAL	48
6.1.2	SITUACIÓN ACCIDENTAL 1: ROTURA DE LA IMPERMEABILIZACIÓN BASAL	51
6.1.3	SITUACIÓN ACCIDENTAL 2: CONDICIONES SATURADAS BAJO IMPERMEABILIZACIÓN	55
6.2	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SEGÚN PERFIL B-B´	59
6.2.1	SITUACIÓN NORMAL	59
6.2.2	SITUACIÓN ACCIDENTAL 1: ROTURA DE LA IMPERMEABILIZACIÓN BASAL	63
6.2.3	SITUACIÓN ACCIDENTAL 2: CONDICIONES SATURADAS BAJO IMPERMEABILIZACIÓN	67
6.3	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SEGÚN PERFIL C-C´	71
6.3.1	SITUACIÓN NORMAL	71
6.3.2	SITUACIÓN ACCIDENTAL 1: ROTURA DE LA IMPERMEABILIZACIÓN BASAL	75
6.3.3	SITUACIÓN ACCIDENTAL 2: CONDICIONES SATURADAS BAJO IMPERMEABILIZACIÓN	79
6.4	RESULTADOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	83
6.4.1	RESUMEN DE RESULTADOS	83
6.5	RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD CONSIDERADOS	87
6.6	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	87
6.7	CONCLUSIONES.....	88
6.7.1	CONCLUSIONES POR PERFILES	88
6.7.2	CONCLUSIONES GENERALES.....	89
7	PLAXIS 2D - ANÁLISIS NUMÉRICO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS	90
7.1	GENERACIÓN DE LA MALLA DE ELEMENTOS FINITOS	90
7.2	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SEGÚN PERFIL A-A´	91
7.2.1	SUPERFICIE DE ROTURA Y FS OBTENIDO	91
7.2.2	VOLUMEN POTENCIALMENTE MOVILIZABLE.....	92
7.3	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SEGÚN PERFIL B-B´	94
7.3.1	SUPERFICIE DE ROTURA Y FS OBTENIDO	94
7.3.2	VOLUMEN POTENCIALMENTE MOVILIZABLE.....	95
7.4	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SEGÚN PERFIL C-C´	96
7.4.1	SUPERFICIE DE ROTURA Y FS OBTENIDO	96



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



7.4.2	VOLUMEN POTENCIALMENTE MOVILIZABLE.....	96
7.5	CONCLUSIONES.....	97
8	CONCLUSIONES	99
8.1	INTRODUCCIÓN.....	99
8.2	EN RELACIÓN CON LAS CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS DEL EMPLAZAMIENTO	99
8.3	RELACIÓN CON LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES QUE PARTICIPAN EN EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	99
8.4	EN RELACIÓN CON LA ESTABILIDAD GLOBAL DEL VERTEDERO	100
8.4.1	COMPARATIVA ENTRE METODOS DE CALCULO – FUNDAMENTO TEÓRICO	100
8.4.2	PERFIL A-A´	100
8.4.3	PERFIL B-B´	101
8.4.4	PERFIL C-C´	102
8.4.5	CONCLUSIONES FINALES.....	102



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
Habilitación
Profesional

2/10
2025



VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Situación de los sondeos (Bistibieta)	14
Figura 2.	Situación geológica (Mapa EVE hoja 62-III)	17
Figura 3.	Mapa de peligrosidad sísmica según NCSE-02	20
Figura 4.	Visor del Mapa de peligrosidad sísmica según NCSE-23 (Fuente: Instituto Geográfico Nacional)....	21
Figura 5.	Mapa hidrogeológico de Euskadi (Vertedero de Bistibieta)	22
Figura 6.	Vulnerabilidad de acuíferos (Vertedero de Bistibieta)	24
Figura 7.	Situación de los perfiles.....	27
Figura 8.	Detalle secuencia impermeabilización	28
Figura 9.	Diseño del dique	30
Figura 10.	Modelo de cálculo de estabilidad para perfil A-A'	33
Figura 11.	Modelo de cálculo de estabilidad perfil B-B'	34
Figura 12.	Modelo de cálculo de estabilidad perfil C-C'	35
Figura 13.	Esquema conceptual de definición de rebanadas y fuerzas actuantes, y definición de F.S. (Bihop M.)	37
Figura 14.	Métodos de cálculo de estabilidad de taludes que emplean rebanadas verticales	38
Figura 15.	Modelo de elementos finitos – Plaxis 2D	39
Figura 16.	Situación normal: rotura circular por la cabeza del dique del perfil A-A'	48
Figura 17.	Situación normal: rotura circular por el cimientto del dique del perfil A-A'	49
Figura 18.	Situación normal: rotura circular por el conjunto del dique del perfil A-A'	50
Figura 19.	Situación normal: rotura predeterminada poligonal del perfil A-A'	51
Figura 20.	Situación accidental 1: rotura circular por la cabeza del dique del perfil A-A'	52
Figura 21.	Situación accidental 1: rotura circular por el cimientto del dique del perfil A-A'	53
Figura 22.	Situación accidental 1: rotura circular por el conjunto del vertedero del perfil A-A'	54
Figura 23.	Situación accidental 1: rotura predeterminada poligonal del perfil A-A'	55
Figura 24.	Situación accidental tipo 2: rotura circular por la cabeza del dique del perfil A-A'	56
Figura 25.	Situación accidental tipo 2: circular por el cimientto del dique del perfil A-A'	57
Figura 26.	Situación accidental tipo 2: rotura circular por el conjunto del vertedero del perfil A-A'	58
Figura 27.	Situación accidental 2: rotura predeterminada poligonal del perfil A-A'	59
Figura 28.	Situación normal: rotura circular por el pie de la celda del perfil B-B'	60
Figura 29.	Situación normal: rotura circular por el cimientto de la celda del perfil B-B'	61
Figura 30.	Situación normal: rotura circular por el conjunto de la celda	62
Figura 31.	Situación normal: rotura predeterminada poligonal del perfil B-B'	63
Figura 32.	Situación accidental 1: rotura circular por el pie de la celda del perfil B-B'	64
Figura 33.	Situación accidental 1: rotura circular por el apoyo de la celda del perfil B-B'	65
Figura 34.	Situación accidental 1: rotura circular por el conjunto del vertedero del perfil B-B'	66
Figura 35.	Situación accidental 1: rotura predeterminada poligonal del perfil B-B'	67
Figura 36.	Situación accidental tipo 2: rotura circular al pie de la celda del perfil B-B'	68
Figura 37.	Situación accidental tipo 2: circular por el apoyo de la celda del perfil B-B'	69



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Figura 38.	Situación accidental tipo 2: rotura circular por el conjunto de la celda del perfil B-B'	70
Figura 39.	Situación accidental 2: rotura predeterminada poligonal del perfil B-B'	71
Figura 40.	Situación normal: rotura circular por el pie de la celda del perfil C-C'	72
Figura 41.	Situación normal: rotura circular por el cimientto de la celda del perfil C-C'	73
Figura 42.	Situación normal: rotura circular por el conjunto de la celda	74
Figura 43.	Situación normal: rotura predeterminada poligonal del perfil C-C'	75
Figura 44.	Situación accidental 1: rotura circular por el pie de la celda del perfil C-C'	76
Figura 45.	Situación accidental 1: rotura circular por el apoyo de la celda del perfil C-C'	77
Figura 46.	Situación accidental 1: rotura circular por el conjunto del vertedero del perfil C-C'	78
Figura 47.	Situación accidental 1: rotura predeterminada poligonal del perfil C-C'	79
Figura 48.	Situación accidental tipo 2: rotura circular al pie de la celda del perfil C-C'	80
Figura 49.	Situación accidental tipo 2: circular por el apoyo de la celda del perfil C-C'	81
Figura 50.	Situación accidental tipo 2: rotura circular por el conjunto de la celda del perfil C-C'	82
Figura 51.	Situación accidental 2: rotura predeterminada poligonal del perfil C-C'	83
Figura 52.	Análisis de sensibilidad de parámetros geotécnicos para situación normal: rotura circular por el conjunto del vertedero.....	88
Figura 53.	Malla de elementos finitos generada – Perfil A-A'	90
Figura 54.	Malla de elementos finitos generada – Perfil B-B'	91
Figura 55.	Malla de elementos finitos generada – Perfil C-C'	91
Figura 56.	Perfil A-A' - Situación normal	91
Figura 57.	Perfil A-A' - Situación accidental 1.....	92
Figura 58.	Perfil A-A' - Situación accidental 2.....	92
Figura 59.	Ejemplo de rotura tipo “cuña”	93
Figura 60.	Plano de planta topográfica. Emplazamiento Vertedero de Bistibieta. Sección A-A' Estimación en planta del círculo de rotura	93
Figura 61.	Perfil B-B' - Situación normal.....	94
Figura 62.	Perfil B-B' - Situación accidental 1 y 2	95
Figura 63.	Plano de planta topográfica. Emplazamiento Vertedero de Bistibieta. Sección B-B' Estimación en planta del círculo de rotura	95
Figura 64.	Perfil C-C' - Situación normal, accidental tipo 1 y tipo 2	96
Figura 65.	Plano de planta topográfica. Emplazamiento Vertedero de Bistibieta. Sección C-C'. Estimación en planta del círculo de rotura	97



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]


ÍNDICE DE TABLAS

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional 2/10 2025 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWBCBRR] 	Tabla 1. Equipo de trabajo 10 Tabla 2. Características de los sondeos de testificación (Bistibieta) 13 Tabla 3. Resultados de laboratorio obtenidos 15 Tabla 4. Resultados de los ensayos de permeabilidad 15 Tabla 5. Tabla resumen del Coeficiente C en función del Tipo de Terreno. (Fuente: NCSP-02) 21 Tabla 6. Niveles freáticos 25 Tabla 7. Parámetros geotécnicos del terreno natural..... 28 Tabla 8. Parámetros geotécnicos de la impermeabilización..... 29 Tabla 9. Parámetros geotécnicos del residuo 29 Tabla 10. Parámetros geotécnicos del muro de escollera 30 Tabla 11. Parámetros geotécnicos considerados en el cálculo de estabilidad 31 Tabla 12. Modelos constitutivos en función de la aplicación (Fuente: Plaxis materials model manual) 42 Tabla 13. Factores de seguridad mínimos adoptados AAI del vertedero 45 Tabla 14. FS recomendados en situación normal (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)..... 45 Tabla 15. Tipología de las superficies de deslizamiento analizadas..... 46 Tabla 16. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: situación normal Perfil A-A' 84 Tabla 17. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: caso accidental (tipo 1) Perfil A-A' . 84 Tabla 18. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: caso accidental (tipo 2) Perfil A-A' . 84 Tabla 19. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: situación normal Perfil B-B' 85 Tabla 20. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: caso accidental (tipo 1) Perfil B-B' . 85 Tabla 21. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: caso accidental (tipo 2) Perfil B-B' . 85 Tabla 22. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: situación normal Perfil C-C' 86 Tabla 23. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: caso accidental (tipo 1) Perfil C-C' .. 86 Tabla 24. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: caso accidental (tipo 2) Perfil C-C' .. 86 Tabla 25. Valores de los factores de seguridad (FS) obtenidos para perfil A-A' 87 Tabla 26. Valores de los factores de seguridad (FS) obtenidos para perfil B-B' 87 Tabla 27. Valores de los factores de seguridad (FS) obtenidos para perfil C-C' 87 Tabla 28. Resumen de valores de los factores de seguridad (FS) obtenidos para perfil A-A' 101 Tabla 29. Resumen de valores de los factores de seguridad (FS) obtenidos para perfil B-B' 101 Tabla 30. Resumen de valores de los factores de seguridad (FS) obtenidos para perfil C-C' 102
--	---

ANEXOS

Anexo 01. Planos

Anexo 02. Cálculos de estabilidad


ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional
2/10 2025
 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AAI	Autorización Ambiental Integrada
BGA (CCL)	Barrera geológica artificial (<i>Compacted Clay Liner</i>)
ENAC	Entidad Nacional de Acreditación
FS	Factor de seguridad
GBR-C	Barrera geosintética de arcilla (<i>Geosynthetic Barrier-Clay</i>)
GBR-P	Barrera geosintética polimérica -geomembrana- (<i>Geosynthetic Barrier-Polymeric</i>)
GCO	Geocompuesto de drenaje (<i>Geocomposite</i>)
GGR	Geomalla de refuerzo (<i>Geogrid</i>)
K	Permeabilidad
NF	Nivel freático
PEAD	Polietileno de alta densidad
RI	Residuos inertes
RNP	Residuos no peligrosos
RU	Residuos urbanos
MEL	Método de equilibrio límite
MEF	Método de elementos finitos



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWBCBRR]



1 INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo del estudio es definir el modelo geológico, hidrogeológico, geomecánico, el estado tensional actual y de la estabilidad del cimiento, cuerpo y taludes **únicamente de la fase 3 del vertedero de Bistibieta**.

Entre los objetivos específicos del estudio se encuentran:

- Determinar el nivel de conocimiento geométrico, geológico, geotécnico e hidrogeológico del vertedero, ampliando y contrastando la información geotécnica disponible con una campaña de investigación geotécnica diseñada específicamente para la nueva celda.
- Realizar un modelo geomecánico de las nuevas celdas proyectada al objeto de obtener el FS mediante métodos de equilibrio límite, y tensiones-deformaciones con métodos numéricos.
- Estudiar combinadamente roturas potenciales de diferente tipología: circular, polinómica, por superficie predeterminada.
- Definir la variabilidad y analizar la sensibilidad de los diferentes parámetros resistentes, condicionantes hidrogeológicos (condiciones drenadas /no drenadas), subpresiones de fluidos (lixiviados, gases) y efectos dinámicos (sismo).

1.2 EQUIPO DE TRABAJO

El equipo técnico que ha participado de la redacción del presente informe está formado por los siguientes profesionales:

Nombre	Titulación	Acciones
Guillermo Bernal Martínez	Geólogo	~ Responsable del estudio ~ Parametrización de las características geotécnicas ~ Modelización del vertedero
Daniel Prieto Llamas	Ingeniero Técnico de Minas	~ Estudio de la información histórica ~ Elaboración de la documentación gráfica del estudio ~ Diseño y grafiado en planta, alzados perfiles, secciones, detalles
Gabriel Jalón Serrano	Geólogo	~ Interpretación de resultados ~ Revisión ~ Redacción del informe

Tabla 1. Equipo de trabajo

1.3 COMPETENCIAS

El autor del presente proyecto según el Real Decreto 1378/2001 BOE nº303 del 19/12/2001, en su calidad de geólogo, es técnico competente en:

- “Estudios y proyectos de ubicación, construcción y sellado de vertederos de residuos sólidos urbanos y depósitos de seguridad de residuos industriales y radioactivos”.
- “Estudios y proyectos hidrológicos e hidrogeológicos, para la investigación, prospección, captación, control, explotación y gestión de los recursos hídricos”.
- “Estudios y proyectos de ingeniería geológica”.

1.4 INDEPENDENCIA, IMPARCIALIDAD Y CONFIDENCIALIDAD

LURGINTZA ingeniería geológica, S.L. así como su personal en concreto, está sujeto al compromiso de independencia, imparcialidad y confidencialidad de los datos, informes, documentos del cliente o proporcionados por el cliente que exige su acreditación como entidad de inspección medioambiental (Procedimiento general PG01 de LURGINTZA) y que se establece en su SIGC (sistema integrado de gestión de calidad) certificado por AENOR conforme a la UNE-EN ISO 9001:2015 y la UNE-EN ISO 14001:2015.

Todos los datos e informes manejados y originados en el transcurso de los trabajos, sólo serán facilitados a aquellas personas u organismos previamente designados por la propiedad. Así mismo, tanto el acceso a equipos y programas informáticos, como la distribución de informes y certificados estarán comprendidos en el alcance de compromiso de la confidencialidad.

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional	2/10 2025
	VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 

2 ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO

2.1 DOCUMENTACIÓN ANALIZADA

Para la elaboración de este estudio se ha analizado la siguiente documentación, facilitada por FCC Ámbito:

- Estudio geológico-hidrológico del vertedero de Lemoa (CINSA, 1997).
- Ejecución de vertedero para residuos inertizados en el TM de Lemoa (ASINTEC, 1999).
- Cálculo de estabilidad de los taludes del vertedero de Bistibieta (Geología y geotecnia Larrea S.L, 2001).
- Proyecto de ampliación del vertedero de Bistibieta – Fases II y III (ASTIV S.L, 2005).
- Estudio de acondicionamiento de la Fase II del vertedero de Bistibieta (ASTIV S.L, 2013).
- Proyecto de acondicionamiento final de la Fase II del vertedero de Bistibieta en Lemoa – Etapa II (ASTIV S.L, 2017).
- Acondicionamiento final de la Fase II del vertedero de Bistibieta (Geología y geotecnia Larrea S.L, 2017).
- Resolución de 12 de septiembre de 2017 de la Viceconsejería de Medio Ambiente, por la que se modifica la autorización ambiental integrada para la actividad de vertedero de residuos no peligrosos, concedida a FCC AMBITO, S.A. (Vertedero de Bistibieta) en el término municipal de Lemoa (Bizkaia).
- Proyecto de acondicionamiento final de la fase II – etapa III del vertedero de Bistibieta, T.M. de Lemoa (Lurgintza, 2018).
- Proyecto técnico y estudio de impacto ambiental para la modificación sustancial de la autorización ambiental integrada del vertedero de Bistibieta, T.M. de Lemoa (Lurgintza 2023)

2.2 CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN (2023)

2.2.1 SONDEOS MECÁNICOS

Se han realizado dos (2) sondeos de testificación continua de acuerdo con la norma *ASTM-D2113-99, XP P94-202*.

Los sondeos se han realizado a rotación, con baterías de 101 mm y 86 mm de diámetro en emboquillaje y en avance de sondeo. Se han perforado en seco con batería simple tipo “B” en rellenos y materiales no consolidados, soportando las paredes de la perforación mediante entubación metálica recuperable de 101 mm de diámetro. A partir de cota de roca se ha perforado con batería doble, tipo “86 T”, con corona de diamante. La refrigeración en la zona de roca sana se ha efectuado exclusivamente con agua, no utilizándose lodos de perforación o polímeros.



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
 Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
 Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Se han empleado una sonda FRASTE dotada de movimiento propio sobre carro de orugas de goma, y equipada con bomba de agua independiente, y penetrómetro DPSH automático para ejecución de ensayos SPT y toma de muestras inalteradas.

Los testigos extraídos en el sondeo se han preservado en cajas portatestigos de plástico, debidamente rotuladas con cotas parciales cada metro y profundidad de las maniobras.

En cada sondeo se han tomado y registrado datos relativos a:

- Cotas parciales y totales
- Litologías atravesadas
- Nivel piezométrico
- Muestras tomadas
- Porcentaje de recuperación
- Fotografías del emplazamiento y de las cajas portatestigos

Las características de los sondeos se recogen en la siguiente tabla:

Sondeo	Coordenadas (X,Y)	Cota Boca aprox. (m)	Profundidad (m)	Profundidad roca (m)	Situación
S-1	(517.787, 4.785.728)	170	15	9	Zona alta del relleno-Este
S-2	(517.720, 4.785.730)	168	3	-	Zona alta del relleno-Oeste

Tabla 2. Características de los sondeos de testificación (Bistibieta)



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
 Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
 Habilitación Profesional

VISADO : 03202500128
 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]





Figura 1. Situación de los sondeos (Bistibieta)

2.2.2 TOMA DE MUESTRAS

Se ha procedido a la toma de muestra inalterada de las arcillas-roca meteorizada de grado V, dado que es la unidad crítica a la hora de calcular la estabilidad al ser los materiales sobre los que apoya el mismo.

2.2.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Se han realizado ensayos de caracterización geotécnica de las muestras inalteradas obtenidas durante la ejecución de los sondeos:

- Ensayos de densidad, según norma UNE 103,301:1994
- Ensayos de humedad, según norma UNE-EN ISO 17892-1:2015
- Ensayos de corte directo en condiciones secas y saturadas, según norma UNE 103,401:1998

Los resultados se expresan en la siguiente tabla:

Muestra	Densidad (kN/m ³)	Humedad (%)	Densidad seca (kN/m ³)	Condiciones secas		Condiciones saturadas	
				Ang Roz Interno (°)	Cohesión (KPa)	Ang Roz Interno (°)	Cohesión (KPa)
S-1 MI 1	18,7	23,4	15,1	13,6	55	13,1	57
S-2 MI 1	20,3	20,8	16,8	26,4	26	28,9	18

Tabla 3. Resultados de laboratorio obtenidos

Además, se han realizado ensayos de permeabilidad para complementar los datos existentes sobre el vertedero:

Muestra	Permeabilidad (m/s)
S-1 MI 1	$2,99 \times 10^{-10}$
S-2 MI 1	$2,71 \times 10^{-10}$

Tabla 4. Resultados de los ensayos de permeabilidad



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



3 GEOLOGÍA Y HIDROGEOLOGIA

3.1 MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se sitúa desde un punto de vista geológico regional, en la Cuenca Vasco Cantábrica. Se trata de una cuenca sedimentaria individualizada a finales de Jurásico y que recibió un gran aporte sedimentario en dirección general SW-NE durante el Cretácico y el Paleógeno.

Durante este proceso de depósito, la fracturación procedente de las fases alpinas dividió el fondo de la cuenca en un conjunto de surcos y paleoaltos donde la sedimentación que se producía en una misma época era de naturaleza netamente diferente. A favor de esta fracturación distensiva, se produjeron emisiones submarinas de rocas subvolcánicas. Asimismo, estas pulsaciones desencadenan la halocinensis de los materiales triásicos. Con posterioridad, todo el conjunto fue plegado por la orogenia propiamente Alpina, generándose la casi totalidad de las estructuras y alineaciones en dirección N120-130E reconocidos en este sector del Arco Vasco.

La zona estudiada se halla enclavada en el flanco meridional del Sinclinorio de Bizkaia y los materiales que predominan en la zona es la unidad de Oiz, sector de Durango. En general, los materiales presentan una orientación NW-SE en la zona con buzamientos altos hacia el NE, incluso ocasionalmente se presentan verticales y con inclinaciones al SW, producto de la inversión de la serie.

El sector de Durango forma una banda diagonal orientada noroeste-sureste, paralela a las fallas limitantes, y que ocupa la parte de centro – noreste del cuadrante. Los materiales que lo componen son de edades comprendidas entre el Albiense y el Paleoceno, y se encuadran en el Complejo Urganiano, formación Durango y en la base del Cretácico superior carbonatado, con algunas intercalaciones de rocas volcánicas, así como en una escama paleocena limitada por contactos mecánicos.

Sobre las formaciones rocosas aparecen recubrimientos cuaternarios (eluviales, coluviales y rellenos).

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional	2/10 2025
	VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWBCBRR] 

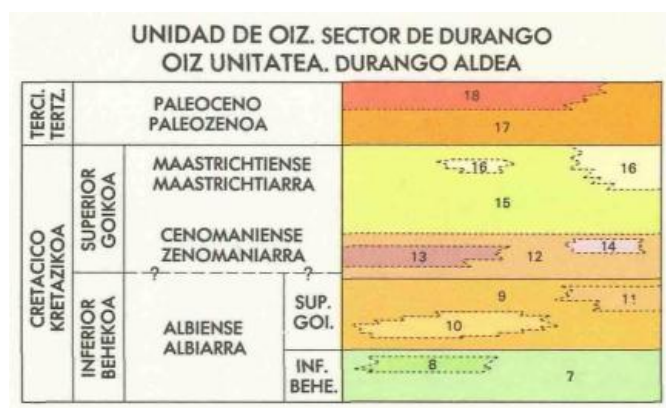
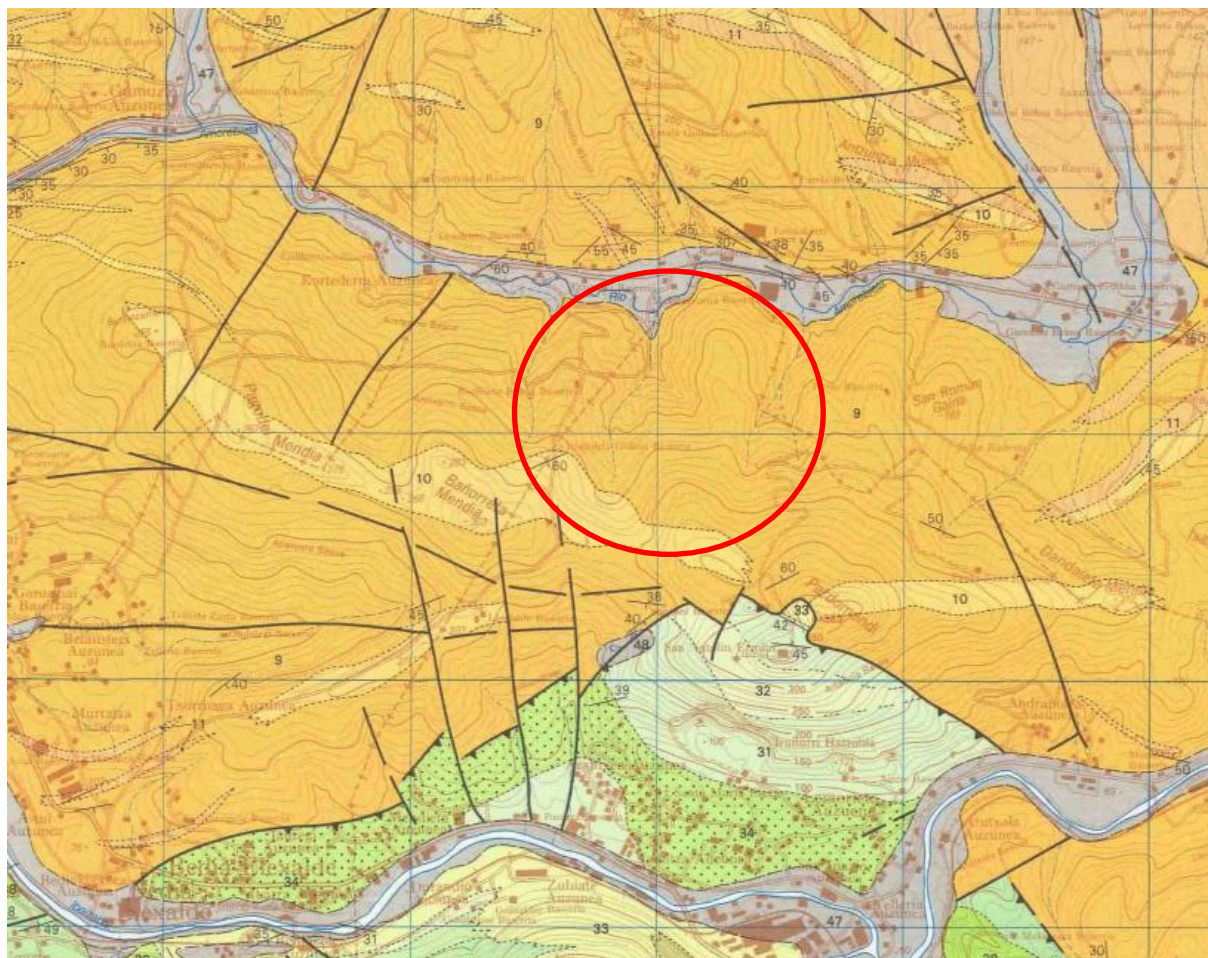


Figura 2. Situación geológica (Mapa EVE hoja 62-III)

3.2 LITOLOGÍA

El Sector de Durango está formado por una sucesión esencialmente detrítica, de lutitas y areniscas que se combinan definiendo, según su abundancia relativa dentro de la serie, en términos con características propias.

En concreto dentro de la zona de estudio encontramos los siguientes materiales:

- **Areniscas y lutitas:** Se trata de una alternancia de lutitas grises a negras en fractura fresca que al alternarse se tornan a ocre y areniscas amarillentas que ocupan la misma proporción. Ocasionalmente se puede encontrar algún nivel carbonatado de tipo lutitas margosas o margas. Petrográficamente están compuestos por granos de cuarzo y feldespato en menor proporción, como minerales principales constituyentes de la trama, siendo el cemento predominantemente de carácter silíceo.

Presentan buzamientos subhorizontales de 25°, en la parte baja, mientras que en el resto de la zona los buzamientos son de 40-60°.

- **Areniscas:** se denomina así al término compuesto principalmente por areniscas. Presentan potencias decimétricas, pudiendo llegar a métricas en algunos casos. Estas areniscas están compuestas por granos de cuarzo de tamaño fino a medio, con algo de feldespato, mica blanca y, en algunos casos, materia orgánica. En el ámbito de estudio estos niveles son aislados.

- **Cuaternario:** en su mayoría se compone por depósitos heterométricos de origen fluvial, abundando los tamaños finos en la parte superior. Únicamente presentes aguas abajo del vertedero es donde la potencia de estos depósitos desarrolla cierta importancia.

En el ámbito del proyecto se encuentran **suelos de origen eluvio-coluvial** que llegan a alcanzar más de un metro de potencia en las zonas bajas de la ladera, y se componen por limos arcillosos provenientes de la alteración de las lutitas y clastos angulosos de pequeño tamaño que indica un pequeño transporte facilitado por la pendiente.

3.3 TECTÓNICA

En el área estudiada no se detectan estructuras regionales de importancia, aunque sí que se aprecia paralelismo de las vaguadas existentes en la zona, coincidentes con las directrices regionales asociadas a la fase de relajación de los esfuerzos compresivos.

Asociados a estos esfuerzos compresivos que dieron lugar el sinclinorio de Bizkaia (NW-SE), se generaron fallas inversas paralelas a las directrices estructurales del sinclinal. A este tipo corresponde la que aparece al Noroeste conocida como la Falla de Durango, de dirección paralela a los esfuerzos compresivos y buzamiento hacia el SW.

De este tipo también es la que existe al S-SW del área de estudio, de perfil más irregular y complejo que limita los materiales detríticos y arcillosos (similares a los del área de trabajo) con materiales del Cretácico Inferior. A esta falla se le conoce como Falla de Bilbao-Alsasua y sigue por el NW hasta la costa de Somorrostro.



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
 Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
 Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Con posterioridad a estos esfuerzos compresivos se produce una serie de familia de fallas normales asociadas a una etapa de relajación.

3.4 GEOMORFOLOGÍA

La litología predominante en la zona se caracteriza por presentar relieves suaves, con desniveles de terreno no superiores a los 200 m y cuyas pendientes se ven incrementadas en las laderas que vergen hacia el sur.

La geomorfología del área de estudio está condicionada principalmente por los arroyos que discurren. En el área de estudio se puede observar diferentes generaciones de laderas alterando sus pendientes, que por lo general son pronunciadas y asociadas a la erosión diferencial de las facies más blandas.

3.5 SISMICIDAD

A efectos del cálculo sísmico será de aplicación la siguiente norma:

- Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación (NCSE-02)" aprobada por Real Decreto 997/2002 de 27 de septiembre, y publicada en el B.O.E. del 11 de octubre de 2.002. El Artículo 2 de la misma, establece el ámbito de aplicación de la Norma que se extiende a los proyectos y obras de construcción que se realicen en territorio nacional, concretamente en el campo de la Edificación y subsidiariamente en el campo de la Ingeniería Civil y otros tipos de construcciones en tanto no se aprueben normas específicas para los mismos.

Según los criterios de aplicación de la Norma de Construcción sismorresistente NCSE-02; la misma será de obligado cumplimiento en los proyectos, construcciones y conservaciones de edificaciones de nueva planta, excepto:

- En las construcciones de importancia moderada.
- En las edificaciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica a^b sea inferior a 0,04 g, siendo g la aceleración de la gravedad.
- En las construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la aceleración sísmica básica a^b sea inferior a 0,08 g. No obstante, la Norma será de aplicación en los edificios de más de siete plantas si la aceleración sísmica de cálculo, a^c , es igual o mayor de 0,08 g.

Por lo tanto, en el proyecto objeto de este documento **sí será necesaria la consideración de la acción sísmica**, dado que la parcela se encuentra ubicada en una zona calificada en el borrador de la NCSR-23, con un valor de la aceleración sísmica básica, a_b , es de 0,06 g, y la estructura se considera como de importancia especial.

Clasificación de las construcciones

Según la normativa aplicada las actuaciones proyectadas, de acuerdo con el uso a que se destina y de los daños que puede producir su destrucción, se clasifican como de " importancia especial ", ya



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
 Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



que se ha considerado que su destrucción por el terremoto puede ocasionar efectos catastróficos, por ello se realizan los cálculos con un coeficiente adimensional de riesgo $\rho = 1,3$.

Mapa de peligrosidad sísmica. Aceleración sísmica básica

La peligrosidad sísmica del territorio nacional se define por medio del mapa de peligrosidad sísmica.



Figura 3. Mapa de peligrosidad sísmica según NCSE-02

Este mapa suministra para cada punto del territorio y expresada en relación al valor de la gravedad la aceleración sísmica básica a_b , un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno, correspondiente a un período de retorno de quinientos años.

Según se establece en la figura adjunta del Mapa de peligrosidad sísmica, extraída de la Norma NCSE-02, y en el listado de su Anejo 1, el valor de la aceleración sísmica básica para la zona del proyecto, es $a_b/g = 0,04$, y el coeficiente de contribución $K = 1,0$.

Es recomendable tener en cuenta que la NCSR - 02 en vigor, se encuentra en fase de una profunda revisión, derivado especialmente por el terremoto de Lorca en el año 2011 y se ha desarrollado un nuevo mapa de peligrosidad sísmica incluido en el borrador de la NCSR-23. Esta nueva norma aún se encuentra sin aprobación, aunque se ha considerado oportuna su consideración, por lo que se ha consultado el mapa de peligrosidad sísmica de la página oficial del Instituto Geográfico Nacional en

Topographic map of the study area (Zona de estudio) in the Elexalde Galdakao region. The map shows the study zone (Zona de estudio) marked with a blue dot. The map includes labels for various locations: Goikoelexalde/Elexalde, Una, Kurtzea, Elexalde Galdakao, Jauregi, Intzuntza, Txiriboketa, Errekalde, Amorebieta, Euba, and Iurreta. Several BI codes are also visible: BI-3732, BI-4346, BI-4343, BI-4342, BI-3325, BI-4221, BI-4223, and BI-4337. A road labeled BI-30 is also shown.

Se opta por tomar para el cálculo los valores de la aceleración sísmica básica y del coeficiente de contribución arrojados por el borrador de la NCSR-23, **$a_b \approx 0,04g$ y $K=1,0$** , dado que son los valores más actualizados y los más desfavorables.

En la Norma NCSP-02, se establece que el terreno se clasifica en los siguientes tipos:

Tipo De Terreno	Características	Coefficiente C
I	Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso, $v_s > 750$ m/s	1,0
II	Roca muy fracturada, suelo granular denso o cohesivo duro, $750 \text{ m/s} \geq v_s > 400$ m/s	1,3
III	Suelo granular de compacidad media o suelo cohesivo de consistencia firme a muy firme, $400 \text{ m/s} \geq v_s > 200$ m/s	1,6
IV	Suelo granular suelto, o suelo cohesivo blando, $v_s \leq 200$ m/s	2,0

IA25016-EST1

A partir de este dato se calcula el coeficiente de amplificación del terreno, S , que se calcula como sigue:

$$\text{Para } p \leq 0,1 \text{ g} \quad S = \frac{C}{1,25}$$

El terreno que se ha encontrado mayoritariamente en la campaña de investigación geotécnica es de Tipo III Suelo granular de compacidad media o suelo cohesivo de consistencia firme a muy firme, $400 \text{ m/s} \geq v_s > 200 \text{ m/s}$ con un Coeficiente de $C=1,6$.

Por lo que, $S= 1,28$.

Aceleración sísmica de cálculo

Aplicando la Norma NCSP-02, la aceleración sísmica de cálculo a_c se define como el producto del coeficiente de amplificación del terreno (S), el Coeficiente adimensional de riesgo (ρ) y la aceleración sísmica básica (a_b).

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

$$a_c = 1,28 \cdot 1,3 \cdot 0,04g$$

$$a_c = 0,0665g$$

3.6 HIDROGEOLOGÍA

3.6.1 ENCUADRE HIDROGEOLÓGICO

La zona del vertedero se encuadra dentro del Dominio Hidrogeológico del Anticlinorio Sur, en concreto en la Unidad Hidrogeológica de Aramotz

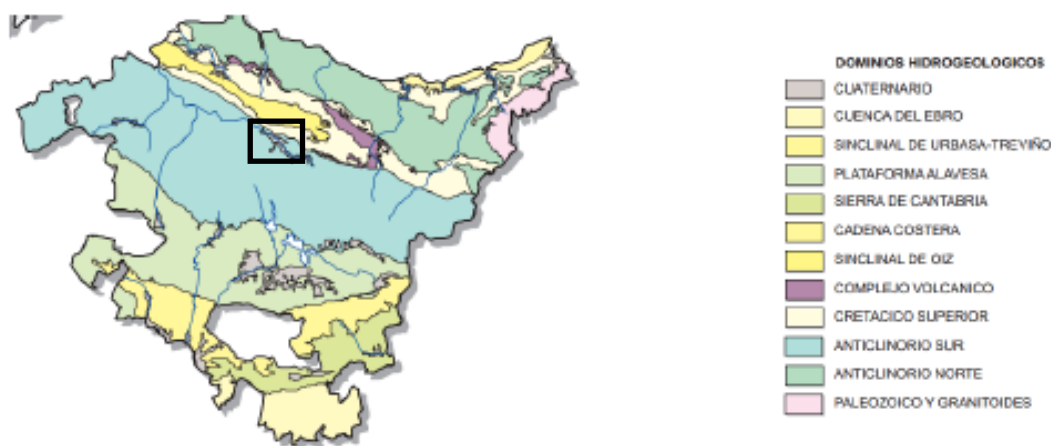


Figura 5. Mapa hidrogeológico de Euskadi (Vertedero de Bistibieta)

Las características hidrogeológicas de la zona están condicionadas por la litología que encontramos, que principalmente están compuesta por una alternancia de areniscas y lutitas que presentan una

permeabilidad baja. La poca permeabilidad que se puede encontrar está asociada al contacto entre estos materiales y las fracturas presentes. Podemos dividir estos materiales según su predominancia:

- En las zonas donde haya una mayor proporción de lutitas la permeabilidad se reduce.
- En las zonas donde abundan los niveles de arenisca la permeabilidad será baja por porosidad, por lo que se podría dar cierta saturación de agua.

En el estudio hidrogeológico que se desarrolló para el proyecto del vertedero (CINSA, 1997) se realizaron una serie de ensayos de permeabilidad (Lugeon y Lefranc) sobre cada una de las litologías descritas llegando a las siguientes conclusiones:

- Los suelos presentan valores de permeabilidad (k) entre 10^{-7} y 10^{-9} m/s, coincidiendo los valores más bajos con los limos aluviales.
- El sustrato rocoso (lutitas y areniscas) presenta una permeabilidad media del orden de 10^{-7} m/s.

3.6.2 INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Se ha consultado el inventario de Puntos de Agua de Gobierno Vasco y no se han detectado puntos de interés en la zona afectada.

Las circulaciones superficiales se limitan a regatos y arroyos con caudales temporales, siendo el principal el situado al oeste de la nueva celda que en la actualidad esta captado y reconducido por el canal perimetral.

3.6.3 VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS

Tanto en la propia zona de ampliación como aguas abajo no existen acuíferos de interés y por lo tanto susceptibles de contaminación por aguas subterráneas.

Tampoco se han detectado fallas o fracturas en la zona que permitan una conexión hidráulica con otros acuíferos.



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
 Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
 Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]





Figura 6. Vulnerabilidad de acuíferos (Vertedero de Bistibieta)

3.6.4 PERMEABILIDAD

Son de aplicación tanto el Estudio Hidrogeológico original (CINSA, 1997) para el proyecto de la Fase I, como el estudio Geológico – Geotécnico para las fases II y III (Geotecnia Larrea, 2013). En estos estudios se evalúa la permeabilidad del sustrato rocoso (alternancia de lutitas y areniscas) en base a ensayos tipo Lugeon y Lefranc, obteniéndose valores inferiores a $K < 1 \times 10^{-7}$ m/s.

Complementariamente, se han realizado dos (2) ensayos de permeabilidad por el método triaxial, según la norma UNE-EN ISO 17892-11:2019, sobre cada una de las muestras inalteradas de roca meteorizada gr. V obtenidas en sondeo (Tabla 4).

Los ensayos realizados sobre las muestras obtenidas en los sondeos realizados en el emplazamiento de la nueva celda S-1 y S-2, dan como resultado permeabilidades inferiores a $K < 3 \times 10^{-10}$ m/s (ver apartado 2.2.3 ENSAYOS DE LABORATORIO).

Según el RD 646/2020 y la capa mineral de la base y lados del vertedero debe garantizar una permeabilidad $K \leq 1,0 \times 10^{-9}$ m/s para vertederos de residuos no peligrosos.

A la vista de los resultados de los ensayos de permeabilidad realizados, el terreno natural (roca meteorizada gr. V) cumpliría con los requerimientos normativos¹ tanto en permeabilidad como

¹ Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, y Decreto 49/2009 de 24 de febrero, por el que se regula la eliminación de residuos mediante su depósito en vertedero.

espesor² para constituirse como barrera geológica de un vertedero de residuos no peligrosos. Sin embargo, no se puede garantizar la continuidad de la barrera geológica en fondo y laterales de la nueva celda proyectada, tras el movimiento de tierras que supone el conformado de base.

Así pues, además del revestimiento artificial impermeable (geomembrana de PEAD) tal y como señala la misma normativa, resultará necesario complementar la barrera geológica natural con una barrera geológica artificial que asegure una permeabilidad K inferior a 1×10^{-9} m/s.

3.6.5 NIVEL FREÁTICO

En los piezómetros situados aguas arriba y abajo del vertedero obtenemos los siguientes datos:

Piezómetro		Nivel freático (m)
PZ-Aguas arriba	PZ-7	5,32 ⁽³⁾
PZ-Aguas abajo	PZ-1	1,328 ⁽¹⁾
	PZ-2	1,80 ⁽¹⁾
S1 (nueva celda) ⁴	S1	12,30

Tabla 6. Niveles freáticos

El nivel piezométrico en el terreno natural sobre el que se apoya la nueva celda hasta la base del vertedero formará una línea virtual que se sitúa entre 1,3 y 12,3 m respecto a la superficie topográfica original.



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar [icog.e-gestion.es \[FV1MFR6ITWBCBRR\]](https://icog.e-gestion.es/FV1MFR6ITWBCBRR)



² La barrera geológica natural debe garantizar una permeabilidad $K \leq 1,0 \times 10^{-9}$ m/s en 1 m de espesor para vertederos de residuos no peligrosos.

³ Promedio año 2022.

⁴ Desaparecido tras el inicio de las obras de conformado de la nueva celda

4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen y justifican los datos que soportan la base del cálculo de estabilidad objeto de este estudio.

Los datos necesarios para la alimentar estos cálculos, están en relación con:

- La geometría de las secciones de estudio.
- Los parámetros resistentes de los materiales que participan del modelo de estabilidad.
- La presencia/ausencia de fluidos (agua, lixiviado, gases).

4.2 GEOMETRÍAS DE CÁLCULO

4.2.1 INTRODUCCIÓN

Se han analizado diferentes secciones del vertedero al objeto de seleccionar la más crítica para el cálculo de estabilidad (ver Anexo 1. Planos)

4.2.2 ESTUDIO DE LA SECCIÓN LONGITUDINAL

Se han realizado tres (3) secciones longitudinales cubriendo un doble criterio:

- El criterio de buscar la lineación más fiel a la línea de **máxima pendiente** de los taludes de relleno.
- El criterio de completar los escenarios con **mayor espesor de residuo**, buscando que el trazado de las secciones pasase por el fondo de la vaguada original.

En concreto, se han definido tres perfiles diferenciados:

- Un perfil por el **dique oeste**.
- Un perfil por el **dique este**.
- Un perfil en dirección **norte-sur**, destinado a estudiar el apoyo de la ampliación sobre el vertedero clausulado.

Estas secciones se presentan en el Anexo 1. Planos.



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
 Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
 Habilitación Profesional

VISADO : 03202500128
 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWBCBRR]



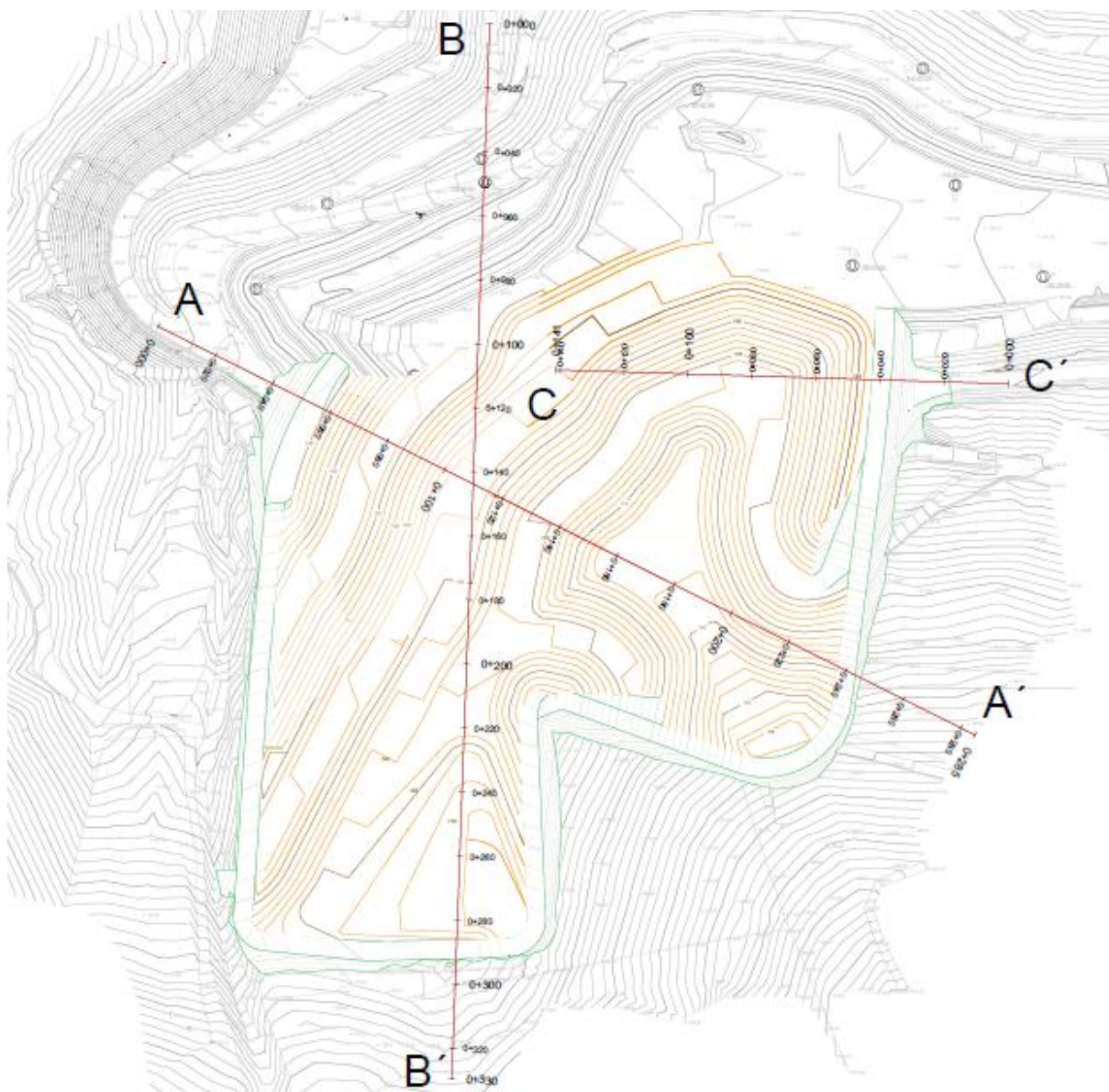


Figura 7. Situación de los perfiles

4.3 PARÁMETROS DE CÁLCULO DE LAS UNIDADES GEOTÉCNICAS DIFERENCIADAS

4.3.1 INTRODUCCIÓN

La selección de los materiales que participan del análisis de estabilidad y de los parámetros geotécnicos de cada uno de ellos, es un aspecto fundamental que incidirá de forma clave en el FS que va a resultar tras el proceso de cálculo.

Al no disponerse de nuevos datos se usarán como referencia los valores del estudio “Proyecto técnico y estudio de impacto ambiental para la modificación sustancial de la autorización ambiental integrada del vertedero de Bistibieta, T.M. de Lemoa (Lurgintza 2023)”.

A continuación, se estudian y justifica la selección de estos valores de cálculo.

4.3.2 SUSTRATO ROCOSO

El material de la base del vertedero está constituido por una secuencia de lutitas grises y areniscas. (ver capítulo 3.2 LITOLOGÍA).

Se han realizado dos (2) sondeos mecánicos, uno de ellos alcanzando la roca sana. La asignación de parámetros al sustrato rocoso se ha realizado sobre la base las observaciones de campo usando como referencia la documentación analizada.

De estudio de los parámetros, nos queda:

Nivel geotécnico	Densidad (kN/m ³)	Cohesión (kN/m ²)	Ang.roz.int. (°)	Módulo de elasticidad (kN/m ²)	Coefficiente de poisson
Sustrato rocoso	26	50	45	200.000	0,25

Tabla 7. Parámetros geotécnicos del terreno natural

4.3.3 IMPERMEABILIZACIÓN

La solución de impermeabilización se ha modelizado en los cálculos como un material con una resistencia al corte igual a la menor resistencia existente entre las superficies de contacto que en cada escenario entran en juego.

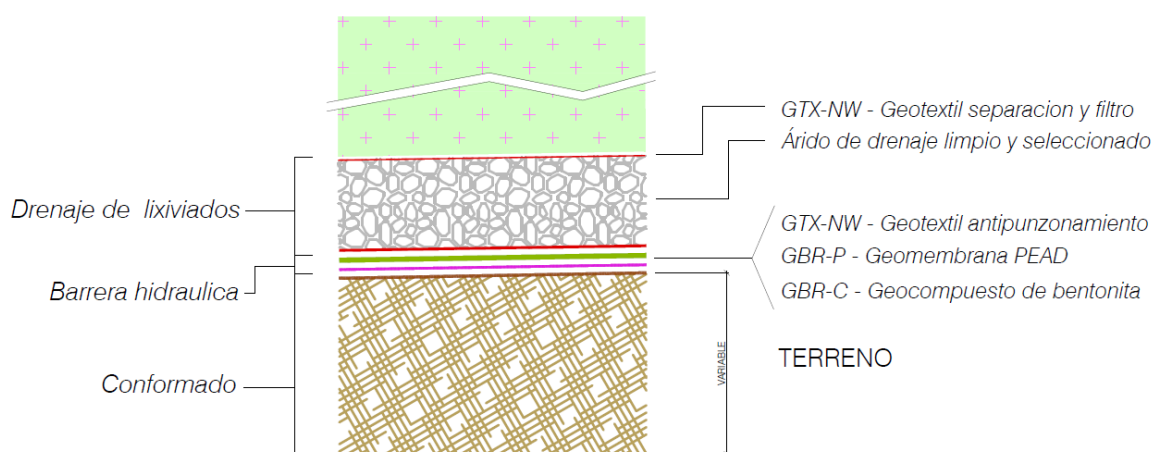


Figura 8. Detalle secuencia impermeabilización

De esta forma, se adoptará la resistencia de corte de la interfaz superior (GTX antipunzonamiento vs. PEAD) en condiciones drenadas o de saturación dentro del vaso de vertido, mientras que se tomará la resistencia de corte de la interfaz de la cara inferior de la geomembrana (PEAD vs. GBR-C) cuando lo que se modelice sea condiciones saturadas bajo la impermeabilización.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, los valores resistentes que consideraremos en este informe como representativos del sistema de impermeabilización correspondientes a la resistencia pico, son los que recoge la siguiente tabla:

Nivel geotécnico	Densidad (kN/m ³)	Cohesión (kN/m ²)	Ang.roz.int. (°)	Módulo de elasticidad (kN/m ²)	Coefficiente de poisson
Impermeabilización	5	5 ¹ /0 ²	26 ¹ /18 ²	35.000	0,45

Tabla 8. Parámetros geotécnicos de la impermeabilización

En relación con los parámetros en los que se modelizan situaciones con presencia de agua entre los materiales en contacto con la lámina de PEAD, aplicaremos el coeficiente de reducción que propone el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX (Estaire y Olivenza, 2013), según el cual la resistencia al corte en condiciones saturadas puede disminuir hasta en un 30% respecto a la resistencia en condiciones secas. En nuestro caso, bajo un criterio de prudencia, adoptaremos una reducción intermedia, esto es, del 15%.

4.3.4 RESIDUOS

La nueva ampliación del vertedero cuenta con celdas diferenciadas: unas destinadas a la eliminación de residuos no peligrosos (RNP) y una celda específica para el depósito de residuo inertizado/estabilizado. El residuo antiguo corresponde a un relleno antropogénico compuesto por RNP procedentes de la industria, tierras contaminadas y lodos inertizados.

El residuo antiguo del vertedero es un relleno antropogénico de residuos no peligrosos (RNP) procedentes de la industria, tierras contaminadas y lodos inertizados

La asignación de parámetros geotécnicos a los residuos ya vertidos se ha realizado en base a los estudios de ASTIV (2005 y 2017).

En conclusión, los parámetros geotécnicos considerados para el residuo son:

Nivel geotécnico	Densidad (kN/m ³)	Cohesión (kN/m ²)	Ang.roz.int. (°)	Módulo de elasticidad (kN/m ²)	Coefficiente de poisson
Residuos antiguo	16	14	20	10.000	0,3
Residuo nuevo - RNP	18	5	26	7.500	0,3
Residuo nuevo - Inertizado	18	7	27	8.500	0,3

Tabla 9. Parámetros geotécnicos del residuo



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWBCBRR]

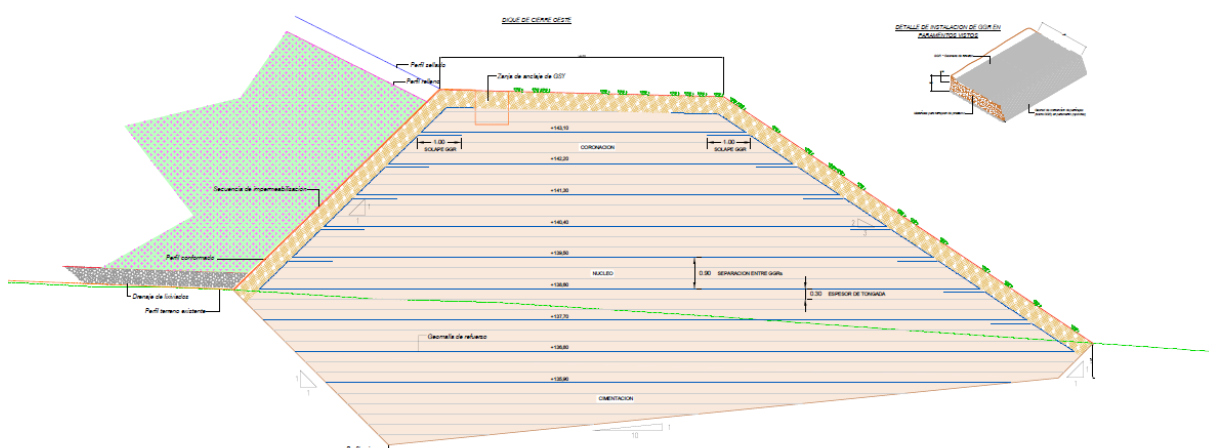


4.3.5 DIQUE

Los diques proyectados constituyen elementos de contención destinados a garantizar la estabilidad del futuro relleno. Se ejecutarán mediante terraplenado con materiales procedentes del desmonte, colocados en tongadas de 0,30 m de espesor y adecuadamente compactadas. Cada dique quedará empotrado en el terreno natural para trabajar como elemento pasivo, contrarrestando los empujes derivados del depósito de residuos en las celdas.

En total se han diseñado tres diques: uno situado en el frente oeste y otro en el frente este, que delimitan el vertedero por ambos lados, y un tercer dique de carácter interno, dispuesto en la trinchera generada entre el antiguo vertedero y la nueva ampliación (antiguo vial de acceso). Este último quedará progresivamente embebido en el propio residuo durante la explotación de la celda.

Todos los diques estarán **reforzados con geomallas**, lo que les confiere una mayor capacidad de resistencia frente a los empujes y mejora su comportamiento estructural a largo plazo.



Nº	Nivel geotécnico	Densidad (kN/m ³)	Cohesión (kN/m ²)	Ang.roz.int. (°)	Módulo de elasticidad (kN/m ²)	Coefficiente de poisson
1	Residuo antiguo	16	14	20	10.000	0,3
2	Impermeabilización	5	5/0	26/18	35.000	0,45
3.1	Residuo nuevo - RNP	18	5	26	7.500	0,3
3.2	Residuo nuevo - IN	18	7	27	8.500	0,3
4	Dique	20	15	40	80.000	0,32
5	Sustrato rocoso	26	50	45	200.000	0,25

Tabla 11. Parámetros geotécnicos considerados en el cálculo de estabilidad

4.4 NIVELES PIEZOMÉTRICOS CONSIDERADOS

Para el estudio de la estabilidad consideramos tres (3) niveles piezométricos en función de las situaciones analizadas:

- **Situación normal:** en esta situación los drenajes de fondo de celda funcionan correctamente y por lo tanto, no hay un nivel piezométrico en el interior del vertedero.
- **Situación accidental 1:** un fallo en el drenaje interior del vertedero ocasiona una acumulación del lixiviado dentro del cuerpo del vertedero. Se considera un nivel piezométrico que satura la mitad del espesor del residuo de la celda.
- **Situación accidental 2:** se considera un fallo en el sistema de drenaje de aguas sub-superficiales que ocasione una saturación del contacto de geosintéticos y un nivel piezométrico que sature la mitad del espesor de residuo de la celda.

4.5 SISMICIDAD

En este estudio se ha tenido en consideración la ocurrencia de un evento sísmico basándose en lo estipulado en la Norma de Construcción Sismorresistente vigente en el Estado español (NCSE-02).

Así, la aplicación de la NCSE-02 es obligatoria en aquellas construcciones situadas en municipios con aceleración sísmica básica superior a 0,04 g. En el término municipal de Lemoa este valor es de 0,04 g, tal y como figura en el listado de municipios del Anejo 1 "Valores de la aceleración sísmica básica, a_b , y del coeficiente de contribución, k , de los términos municipales con $a_b \geq 0,04$ g, organizado por Comunidades Autónomas".

Esta situación supone que **no es necesario realizar un cálculo pseudo-estático** que incorpore el efecto sísmico a través de la consideración de fuerzas de inercia adicionales, proporcionales a la aceleración sísmica correspondiente.



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



4.6 MODELO DE CÁLCULO

Integrando todos los aspectos descritos en los apartados anteriores, obtenemos dos modelos de cálculo que se sintetizan en las siguientes figuras:

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional	2/10 2025	 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]
--	--------------	--

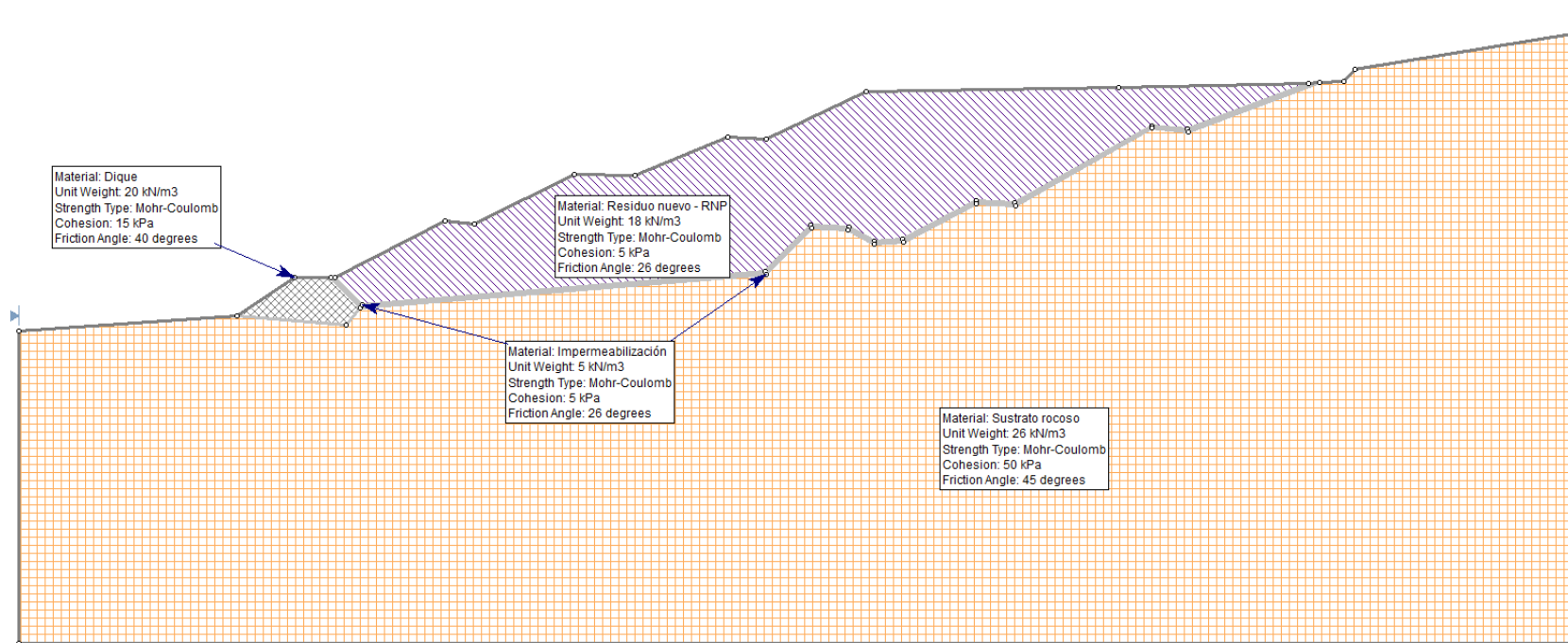


Figura 10. Modelo de cálculo de estabilidad para perfil A-A'

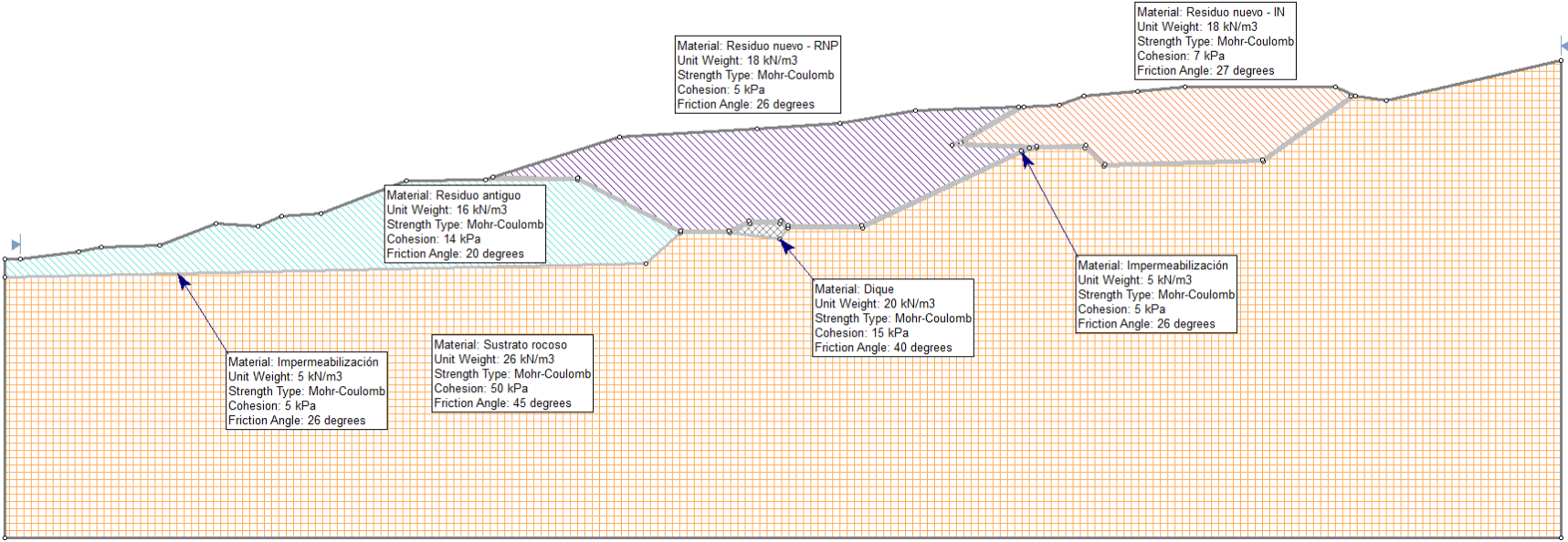


Figura 11. Modelo de cálculo de estabilidad perfil B-B'

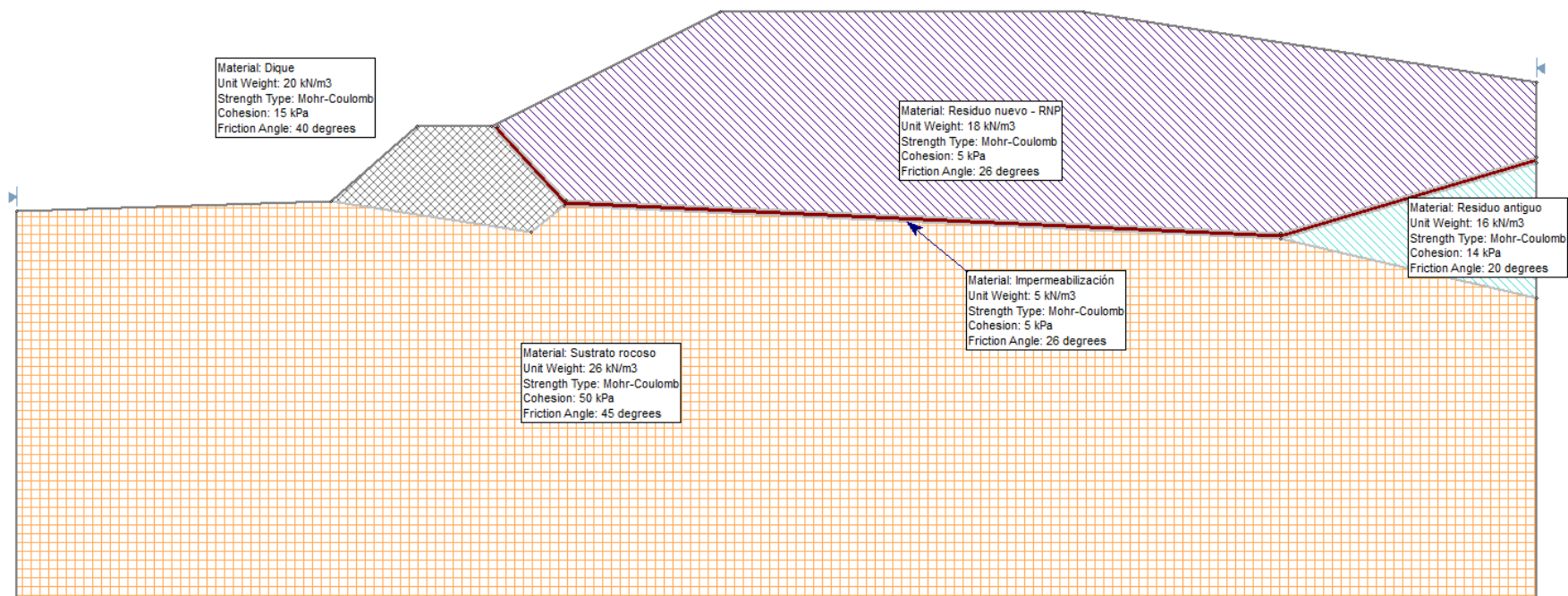


Figura 12. Modelo de cálculo de estabilidad perfil C-C'

4.6.1 SOFTWARE DE CÁLCULO

4.6.1.1 Cálculo mediante métodos de equilibrio límite - SLIDE

El software seleccionado para la realización de los cálculos de estabilidad es el programa Slide, de Rocscience Inc.

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

Incluye análisis de agua subterránea e integra capacidades de análisis de sensibilidad, probabilísticos y análisis retrospectivos.

Está basado en dos métodos:

- **Métodos de equilibrio límite:** se centran en la comparación de las fuerzas favorables al deslizamiento y las fuerzas estabilizadoras a través de una superficie de rotura. El criterio de rotura empleado es generalmente el de Mohr-Coulomb, siendo el resultado del análisis el valor del coeficiente o factor de seguridad. Estos métodos permiten determinar si la masa es estable o no (la estabilidad global o de parte del conjunto).
- **Métodos de las rebanadas:** dividen la masa que desliza en fracciones más pequeñas.
 - Métodos precisos: Bishop riguroso, Morgenstern-Price, Spencer...
 - Métodos aproximados: Janbu, Fellenius, Bishop simplificado...

Son métodos que proporcionan resultados razonablemente buenos de cara a la evaluación de la estabilidad de un talud. Son aplicables a todo tipo de terrenos y, por tanto, a vertederos, y suelen conducir a cargas de rotura superiores a las exactas (según la teoría de la plasticidad) del lado de la seguridad, aunque suficientemente próximas a ellas.

La aplicación de estos métodos requiere las siguientes etapas de cálculo:

- Se busca un mecanismo de rotura cinemáticamente admisible. Usualmente se consideran masas de suelo rígidas que deslizan sobre superficies de rotura posibles de formas geoméricamente sencillas, tales como rectas, circunferencias y espirales logarítmicas. Si el suelo es heterogéneo estas superficies pueden ser más complejas.
- Generalmente se define el coeficiente de seguridad a partir del concepto de esfuerzo o tensión de corte “movilizado”. Este esfuerzo se calcula dividiendo el máximo esfuerzo de corte disponible (calculable mediante la expresión de Mohr-Coulomb) por el coeficiente de seguridad, FS.
- Mediante consideraciones de equilibrio se establecen relaciones entre las fuerzas (vectores) que intervienen en un problema dado. En general cabe distinguir entre fuerzas inductoras del desequilibrio (peso, cargas exteriores, presiones de agua) y fuerzas internas resistentes.



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
 Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
 Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128
 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



En general las condiciones de equilibrio a satisfacer en un problema plano son:

- Dos ecuaciones de equilibrio de fuerzas (horizontales y verticales)
- Una ecuación de equilibrio de momentos, con relación a un punto arbitrario.

En muchas ocasiones, una sola de estas condiciones (por ejemplo, equilibrio de momento en algún tipo de análisis de rotura circular) es suficiente para definir estáticamente el problema.

- Se obtiene el factor de seguridad “despejando F” en las ecuaciones de equilibrio mencionadas en 3. Será necesario buscar el F mínimo variando la geometría de la superficie de rotura, lo que conduce a un proceso de cálculo repetitivo.

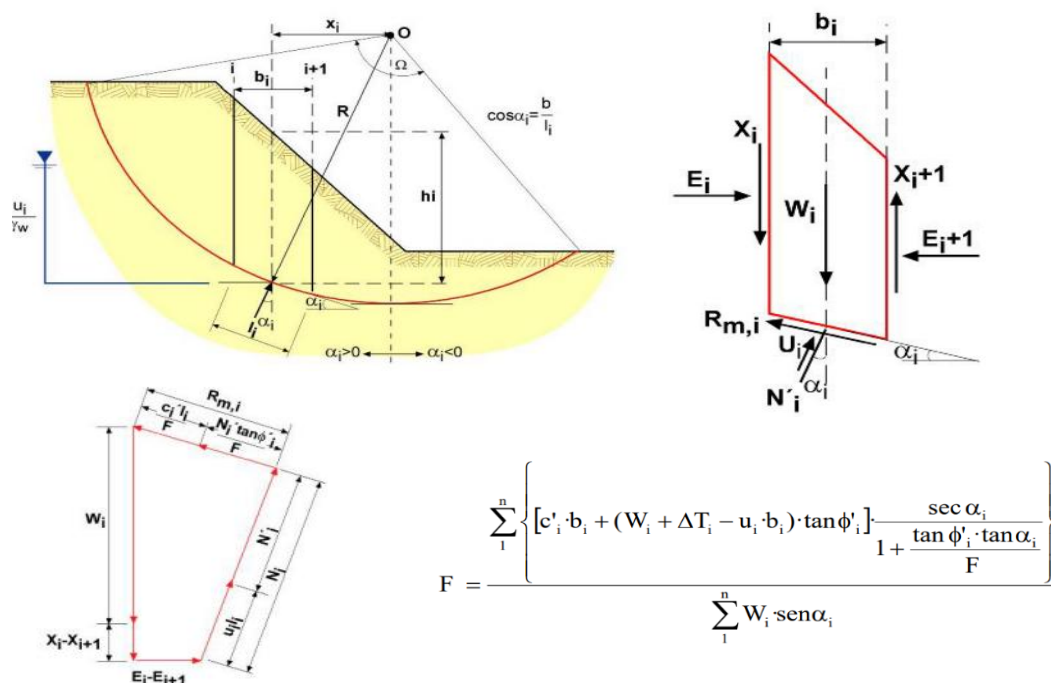


Figura 13. Esquema conceptual de definición de rebanadas y fuerzas actuantes, y definición de F.S. (Bishop M.)

Una hipótesis común a todos los métodos de cálculo es la consideración del talud como indefinido en la dirección horizontal paralela a la superficie del mismo. Aunque la forma de la superficie de rotura sea tridimensional, el hecho de considerar el problema plano conduce a resultados del lado de la seguridad al no tener en cuenta el efecto de los bordes laterales que limitan el deslizamiento.

Los métodos de las rebanadas son mucho más flexibles y se pueden utilizar en casos de suelo heterogéneo y de geometría arbitraria. Cabe distinguir entre los “exactos” y los “simplificados”, por un lado y entre los que se adaptan a cualquier forma de superficie de rotura y los que contemplan superficies de roturas circulares, por otro. Los exactos son aquellos que consideran la acción de todas las fuerzas que actúan en las rebanadas. Esto sucede en los métodos de Janbu, Morgenstern y Price y Bishop. Estos métodos dan lugar a coeficientes de seguridad muy precisos. Sin embargo, el número de cálculos a realizar en todos ellos es muy elevado. Se debe conocer que se considerará un problema bidimensional, analizándose la estabilidad del talud en una sección transversal del mismo,

de tal forma que la zona del terreno que pueda sufrir deslizamiento se divide en una serie de fajas verticales, estudiándose el equilibrio en cada una de ellas.

Los métodos de superficie de rotura de forma arbitraria son útiles cuando se dispone de medios informáticos potentes, de forma que la introducción de la forma de las distintas superficies de rotura en los cálculos de ordenador pueda ser realizada mediante digitalización y el cálculo pueda realizarse de una forma interactiva.

Método	Condiciones de Equilibrio	Tipo de Superficie	Observaciones
Bishop Simplificado (1955)	No cumple equilibrio de fuerzas horizontales ni momentos en rebanadas.	Circular	Errores pequeños si superficie es circular. No tiene en cuenta la variación de fuerzas horizontales entre rebanadas.
Bishop Riguroso (1955)	Cumple todas las condiciones de equilibrio	Circular	Supone una determinada distribución de fuerzas horizontales (E) entre rebanadas que cumpla equilibrio. Se comprueba que la línea de acción de E sea razonable.
Janbu Simplificado (1957)	No satisface equilibrio de momentos	Arbitraria	Obliga a que se cumpla el equilibrio de fuerzas horizontales. Emplea un factor de corrección para mejorar resultados.
Janbu Generalizado (1957)	Satisface equilibrio (salvo momentos en la última rebanada)	Arbitraria	Supone conocida la línea de acción de las fuerzas horizontales entre rebanadas. No siempre converge. Cuando converge da buenos resultados.
Lowe y Karafiath (1960)	No satisface equilibrio de momentos	Circular	Supone que la inclinación de fuerzas entre rebanadas es la media entre las pendientes del terreno y de la superficie de rotura.
Morgenstern y Price (1965)	Satisface todas las condiciones de equilibrio	Arbitraria	Se plantea el problema en forma diferencial. Se supone que la inclinación de las fuerzas entre rebanadas es: $X/E = \lambda \cdot f(x)$, siendo λ un factor de escala y $f(x)$ una función dada. El problema puede resolverse usando la técnica de Newton-Raphson.
Spencer (1967)	Satisface todas las condiciones de equilibrio	Circular	Supone $X/E = \tan \theta = \text{cte.}$ ($f(x)=1$; $\lambda = \tan \theta$) Varia $\tan \theta$ hasta que los factores de seguridad resultantes del equilibrio de fuerzas y momento global coincidan. Línea de acción dada a posteriori por equilibrio de momentos en cada rebanada. Generalizado a superficie arbitraria (Wright, 1969)
Carter (1971)	No cumple equilibrio de fuerzas horizontales y momentos en rebanadas	Arbitraria	Resultados conservadores razonablemente exactos
Fredlund (1981) (G.L.E.)	Satisface todas las condiciones de equilibrio	Compuesta (círculo y secante)	Análogo a Morgenstern y Price en forma discreta
Chugh (1983)	Satisface todas las condiciones de equilibrio	Circular	Análogo a Spencer pero considerando el equilibrio de momentos en cada rebanada. Solución iterativa por cálculo recursivo.

Figura 14. Métodos de cálculo de estabilidad de taludes que emplean rebanadas verticales

4.6.1.2 Software elementos finitos – PLAXIS 2D

Plaxis es un programa de elementos finitos, diseñado para el análisis de deformación, estabilidad y flujo de agua subterránea en ingeniería geotécnica. Desarrollado en 1987 en la Universidad Técnica de Delft en Holanda con la iniciativa del Ministerio de Obras Públicas y el Control de Aguas del estado holandés. Por el crecimiento de las actividades la compañía Plaxis (Plaxis bv) se formó en 1993.

El objetivo de Plaxis es proporcionar una herramienta para un análisis práctico usado por los ingenieros geotécnicos que no son necesariamente especialistas en programación numérica. Los equipos de investigación y desarrollo de Plaxis han direccionado las inquietudes de los ingenieros practicantes al diseñar procedimientos computacionales robustos que encapsulan una fácil y lógica herramienta de cálculo. Como resultado, muchos ingenieros geotécnicos alrededor del mundo han adoptado el producto y es usado para propósitos de ingeniería y diseño (Brinkgreve et al., 2019).

Plaxis está equipado con características para tratar con varios aspectos complejos de la geotecnia, como la interacción de suelo-estructura, y modelos constitutivos avanzados que se ocupan de la simulación del comportamiento del suelo/roca no lineal, dependiente del tiempo y anisótropo.

El software una como base de cálculo el método de elementos finitos, en el ámbito de la Mecánica de Sólido Deformable, es el principal método de resolución de sistemas de ecuaciones en derivadas parciales. La metodología de elementos finitos consiste en dividir el dominio que constituye el objeto de análisis en pequeños subdominios de geometría sencilla denominados elementos finitos, en los que las propiedades del dominio pueden considerarse uniformes y por tanto se puede resolver en ellos el campo de desplazamiento, deformaciones y tensiones, atendiendo a la lógica de simplificación.

Los elementos finitos en los que se divide el dominio objeto del análisis están unidos en sus nodos, que son puntos particulares de contorno del elemento que se disponen siempre en sus esquinas y, en ocasiones, en puntos intermedios de los lados o aristas. Los elementos finitos empleados generalmente en geotecnia en modelos numéricos bidimensionales (2D) son de forma triangular o cuadriláteros y en modelos numéricos tridimensionales (3D) son de forma tetraédrica o hexaédrica. Sin embargo, pueden emplearse elementos con geometrías diferentes, en particular en modelos numéricos tridimensionales, aunque de formas fundamentales o básicas.

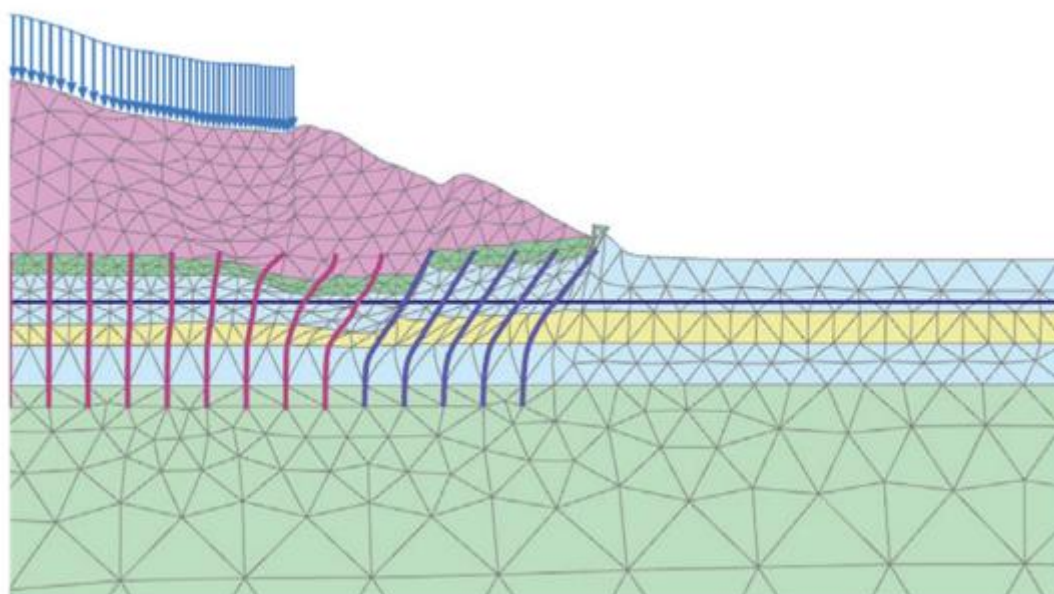


Figura 15. Modelo de elementos finitos – Plaxis 2D

Los modelos constitutivos que están disponibles en Plaxis 2D son los siguientes:

- **Modelo elástico lineal (Linear elastic model):** Modelo basado en la teoría de la elasticidad y las ecuaciones generalizadas de Hooke para elasticidad isótropa. Definido por dos únicos parámetros (el módulo de Young y el coeficiente de Poisson). Todas las deformaciones son recuperables una vez cesa la acción que las genera y nunca se alcanza la rotura o plastificación del material. Aunque no es apropiado para modelizar el comportamiento del terreno, resulta útil para simular estructuras macizas de hormigón como muros.

- **Modelo Mohr-Coulomb (Mohr-Coulomb model):** Es un modelo elastoplástico perfecto definido por 5 parámetros: módulo de Young, coeficiente de Poisson, ángulo de rozamiento, cohesión y ángulo de dilatación. Es posiblemente el modelo constitutivo más empleado en geotecnia. Su criterio de plastificación se emplea en modelos constitutivos más avanzados. Puede emplearse para simular el comportamiento de suelos y rocas e incluso hormigón con una buena selección de parámetros. Se recomienda su empleo para únicamente para llevar a cabo los análisis preliminares o sencillos (órdenes de magnitud) del problema en cuestión. Plaxis permite considerar, para este modelo, un incremento de la rigidez (E' o E_u) y de la cohesión (c' o s_u) con la profundidad.
- **Hardening Soil model:** Se trata de un modelo avanzado para simular el comportamiento de los suelos. Su criterio de plastificación es el mismo que el de Mohr-Coulomb, definido por los parámetros de ángulo de rozamiento, cohesión y ángulo de dilatación. Sin embargo, permite considerar la rigidez del suelo de forma mucho más precisa que el modelo de Mohr-Coulomb puesto que considera tres componentes de la rigidez: la rigidez a corte o triaxial E_{so} , la rigidez edométrica o de carga vertical primaria E_{oed} y la rigidez de descarga/recarga E_{ur} . El modelo permite tener en cuenta la variación de estas rigideces con el nivel tensional (al contrario que el modelo de Mohr-Coulomb, que considera una rigidez constante independiente del nivel tensional) y permite considerar estados de sobreconsolidación del terreno.
- **Hardening Soil with Small Strain Stiffness (HSsmall):** Es una modificación del modelo Hardening Soil que, además de poseer todas las características de éste, considera la variación de la rigidez del suelo con el nivel de deformación adquirido por este. Se ha comprobado que el suelo presenta mayor rigidez con pequeños valores de deformación, y que esta rigidez varía de manera no lineal a medida que el suelo alcanza grandes deformaciones, propias de las obras de ingeniería. El modelo permite tener en cuenta esta variación no lineal de la rigidez con el nivel de deformación, permitiendo llevar a cabo estimaciones más realistas de los desplazamientos que el modelo Hardening Soil.
- **Soft Soil Model (SS):** Es un modelo de tipo Cam-Clay especialmente definido para considerar la compresión/consolidación primaria de suelos arcillosos normalmente consolidados. Aunque el modelo Hardening Soil es más avanzado en líneas generales, el modelo Soft Soil está mejor adaptado para simular el comportamiento a compresión de los suelos muy blandos.
- **Soft Soil Creep Model (SSC):** Este modelo permite tener en cuenta el comportamiento viscoso de suelos para modelizar fenómenos como la fluencia y la relajación. Los fenómenos viscosos son procesos mecánicos dependientes del tiempo (variación del estado tensional y deformacional con el tiempo). Por lo general, casi todos los suelos cohesivos de tipo arcilloso o limoso presentan fenómenos de fluencia o consolidación secundaria tras el proceso de consolidación primaria. Este fenómeno es más habitual en suelos arcillosos normalmente consolidados, limos y turbas. Para tener en cuenta los procesos viscosos como la fluencia (consolidación secundaria) y la relajación, Plaxis desarrolló el modelo Soft Soil Creep model, que permite tener en cuenta el estado de sobreconsolidación del suelo. Por sus características y definición matemática, este modelo constitutivo permite considerar la variable tiempo en el cálculo.

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional	2/10 2025
	VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWBCBRR] 

- **Jointed Rock Model (JR):** Se trata de un modelo elastoplástico perfecto anisotrópico (propiedades no son las mismas en todas las direcciones) especialmente concebido para simular el comportamiento de macizos rocosos con discontinuidades en direcciones determinadas. El comportamiento plástico está limitado a las discontinuidades y definido por la cohesión y el ángulo de rozamiento. La matriz rocosa se considera elástica.
- **Modified Cam-Clay Model (MCC):** Se trata de uno de los modelos más conocidos en el ámbito de la geotecnia. Fue desarrollado en la Universidad de Cambridge. Se emplea sobre todo para modelizar el comportamiento de suelos arcillosos normalmente consolidados.
- **NGI-ADP model:** Está especialmente definido para aplicaciones onshore y offshore en suelos arcillosos y limosos no drenados. Se basa en el empleo de la resistencia a corte sin drenaje. Se emplea para el análisis de la capacidad portante, deformación e interacción suelo-estructura en problemas que implican fenómenos de carga sin drenaje (undrained) en arcillas.
- **UDCAM-S model:** Las iniciales del nombre del modelo indican Simplified UnDrained Cyclic Accumulation Model. Se trata de un modelo avanzado, derivado del modelo NGI-ADP, para considerar el comportamiento no drenado de suelos arcillosos o limosos de muy baja permeabilidad y la degradación de los parámetros de rigidez y resistencia en cargas cíclicas.
- **Sekiguchi-Ohta model:** Es un modelo de tipo Cam-Clay, adecuado para el análisis de suelos arcillosos. Existen dos versiones del modelo. La versión “Inviscid” es un modelo independiente del tiempo similar al Soft Soil model. La versión “Viscid” es tiempo dependiente y similar al modelo Soft Soil Creep. Ambos fueron desarrollados en Japón.
- **Hoek-Brown:** Se trata de un modelo elástico perfectamente plástico isótropo para considerar el comportamiento de macizos rocosos como un medio continuo. Tiene un criterio de plastificación no lineal y dependiente del nivel tensional. Además de los parámetros elásticos, incorpora otros parámetros propios de la Mecánica de Rocas como la resistencia a compresión simple de la matriz rocosa, el Geological Strength Index (GSI) y el factor de perturbación D. Fue desarrollado por los investigadores Evert Hoek y E.T. Brown y es posiblemente el modelo constitutivo más empleado para simular el comportamiento de macizos rocosos.
- **UBC3D-PLM:** Se trata de un modelo avanzado para simular el fenómeno de la licuefacción de suelos en análisis dinámicos. El modelo incluye la posibilidad de considerar la acumulación de deformaciones irreversibles durante la carga cíclica. Si se combina con el comportamiento no drenado (undrained), se produce la acumulación de presiones de poro, que eventualmente pueden dar lugar a la licuefacción.
- **Concrete model:** Se trata de un modelo elastoplástico perfecto para simular el comportamiento de estructuras de hormigón (concrete) o de hormigón proyectado (shotcrete en inglés). Permite considerar la resistencia y rigidez tiempo dependiente del hormigón, así como fenómenos de retracción y fluencia. Emplea un criterio de plastificación combinado de tipo Mohr-Coulomb para estados desviadores de carga y de Rankine para estados de tracción.

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional	2/10 2025
	VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 

Modelo Constitutivo	Cimentación	Excavación	Túnel	Terraplén	Talud	Presa	Offshore	Otros
Linear Elastic Model	C		C					
Mohr-Coulomb model	C	C	C	C	C	C	C	C
Hardening Soil model	B	B	B	B	B	B	B	B
Hardening Soil model with small-strain stiffness	A	A	A	A	A	A	A	A
UBC3D-PLM model*	B	B	B	B	B	B	B	B
Soft Soil model	B	B	B	A	A	B	B	B
Soft Soil Creep model	B	B	B	A	A	B	B	B
Jointed Rock model	B	B	B	B	B	B	B	B
Modified Cam-Clay model	C	C	C	C	C	C	C	C
NGI-ADP model	B	B	B	A	A	B	A	B
UDCAM-S model							A	
Hoek-Brown model	B	B	B	B	B	B	B	B
Concrete model	A	A	A	A	A	A	A	A
A: El mejor modelo constitutivo en Plaxis para esta aplicación.								
B: Modelización con resultados aceptables.								
C: Orden de magnitud. Resultados preliminares. Aproximación.								
* Modelo UDCAM-S para análisis con carga cíclica, en caso de que se conozca la resistencia al corte sin drenaje, UBC3D-PLM para análisis dinámicos de arenas con carga cíclica no drenada.								

Tabla 12. Modelos constitutivos en función de la aplicación (Fuente: Plaxis materials model manual)

En este estudio se ha empleado el **modelo constitutivo Mohr-Coulomb**, ampliamente aceptado en geotecnia por su simplicidad y utilidad en análisis preliminares. Este modelo elastoplástico perfecto se define mediante cinco parámetros: módulo de Young (E), coeficiente de Poisson (ν), ángulo de fricción (ϕ), cohesión (c) y ángulo de dilatancia (ψ). PLAXIS permite asignar valores variables con la profundidad para algunos de estos parámetros, lo cual resulta útil en medios estratificados o sometidos a consolidación.

5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se explica el marco conceptual y metodológico en base al cual se va a realizar el análisis de estabilidad, se documenta el cálculo realizado y, finalmente, se obtienen los resultados numéricos del análisis realizado.

En relación a la metodología de análisis, se describe el método y los factores de seguridad adoptados en función de los distintos escenarios considerados.

En relación con el análisis *sensu stricto*, se documentan las tipologías de superficies de deslizamiento establecidas y se calculan las condiciones de equilibrio para cada uno de escenarios considerados.

5.2 ESCENARIOS DE CÁLCULO CONSIDERADOS

El análisis de estabilidad se ha desarrollado distinguiendo tres (3) situaciones de cálculo, clasificadas con las etiquetas de 'normal', 'accidental' o 'extraordinaria'.

5.2.1 SITUACIÓN NORMAL

Este escenario se corresponde con la situación de explotación normal del vertedero, en donde la impermeabilización y los sistemas de drenaje y gestión de gases funcionan adecuadamente.

En esta situación se entiende que:

- La impermeabilización de base y de sellado funciona eficientemente, no existiendo ninguna entrada de agua en el cuerpo del vertedero, y el drenaje de fondo asegura la evacuación de los lixiviados al exterior. No existe, por tanto, nivel piezométrico en el interior de la masa de residuos.
- El drenaje de fondo, el drenaje bajo impermeabilización, y el de lixiviados funcionan adecuadamente. El nivel freático en el terreno natural no entra en contacto con la impermeabilización de fondo.
- El residuo no ha sufrido desplazamientos, alteraciones, ni deformaciones importantes, más allá del extendido y compactación, ligado al proceso de explotación, y el asentamiento posterior por peso propio.

5.2.2 SITUACIÓN ACCIDENTAL

Se considera situación accidental aquella que se produce como consecuencia del mal funcionamiento, ruina o modificación de las condiciones hidrogeológicas del sistema.

Se han considerado dos (2) situaciones accidentales:



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
 Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
 Habilitación Profesional

2/10
 2025

VISADO : 03202500128
 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]


5.2.2.1 Rotura del paquete de sellado y obturación del sistema de drenaje

Esta situación supone que se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

- Haya aporte de agua al interior del vertedero.
- El sistema de drenaje de lixiviados se obstruya, o el aporte de agua sea tal que se establezca un nivel freático en el interior del cuerpo del vertedero.

El nivel piezométrico de cálculo correspondiente a esta situación se sitúa en una altura máxima que satura hasta el 50% del espesor de los residuos (15 m), según el perfil de estudio considerado.

Adicionalmente, se han considerado otros escenarios de saturación del interior del vertedero más razonables en un vertedero sellado respecto al punto más bajo del perfil considerado al objeto de realizar un análisis de sensibilidad del modelo.

5.2.2.2 Obturación del sistema de drenaje bajo impermeabilización

Esta situación refleja un escenario según el cual la obturación del sistema de drenaje bajo impermeabilización o un ascenso del nivel freático provocado por cualquier causa provocase, a efectos de cálculo, que el contacto entre geosintéticos se saturase, disminuyendo su resistencia al corte.

5.3 FACTORES DE SEGURIDAD ADOPTADOS

5.3.1 FACTORES DE SEGURIDAD CONFORME A LA AUTORIZACIÓN AMBIENTAL INTEGRADA

Los coeficientes de seguridad que se adoptan en el presente estudio son los indicados por el órgano ambiental, esto, es:

- En situación normal: $FS \geq 1,50$
- En situación accidental (fallo del sistema de drenaje): $FS \geq 1,30$

5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS

Teniendo en cuenta los aspectos indicados en los apartados precedentes, se considera justificado adoptar los siguientes factores de seguridad para el estudio de la estabilidad del vertedero.



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
 Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
 Habilitación Profesional

2/10
 2025

VISADO : 03202500128
 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Situación postclausura	Escenario	Resistencia del paquete de impermeabilización	Factor de seguridad mínimo
Normal	Condiciones drenadas	Resistencia pico en condiciones secas	1,50
Accidental (Tipo 1 y 2)	1) Rotura del paquete de sellado y condiciones de drenaje deficiente	Resistencia pico en condiciones saturadas	1,30
	2) Obturación del sistema de drenaje bajo impermeabilización y/o ascenso del nivel freático	Resistencia en condiciones saturadas	1,30

Tabla 13. Factores de seguridad mínimos adoptados AAI del vertedero

5.3.3 FACTORES DE SEGURIDAD CONFORME AL MINISTERIO DE TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Se seguirán las “*Recomendaciones para el establecimiento de criterios de ubicación, diseño y programas de vigilancia en vertederos v1*” del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico en el que se asignan una etiqueta en función de las consecuencias que en condiciones de inestabilidad podría producir un vertedero en relación con la seguridad de las personas y/o del medio ambiente. En tal sentido se consideran los siguientes escenarios de riesgo:

- **Situaciones de bajo riesgo** son aquéllas en las que una potencial inestabilidad provocaría exclusivamente daños materiales sin consecuencias significativas ambientales ni para la seguridad de las personas.
- **Situaciones de riesgo medio** en las que una potencial inestabilidad provocaría daños significativos para el medio ambiente pero no para la seguridad de las personas.
- **Situaciones de alto riesgo** son aquéllas en las que se pueden provocar daños a personas o bien impactos ambientales severos o irreversibles.

Según la definición del Ministerio, el vertedero de Bistibieta se define como instalación en situación de **medio**, por ser susceptible de provocar daños a personas y/o impactos ambientales severos o irreversibles.

El documento de recomendaciones del Ministerio, establece que en el **escenario normal** se determinará una situación de ángulo de reposo estable ponderándose con los siguientes factores de seguridad:

Situación de riesgo	Clase de vertedero		
	Residuos inertes	Residuos no peligrosos	Residuos peligrosos
Bajo	1.3	1.4	1.5
Medio	1.4	1.5	1.6
Alto	1.5	1.6	1.8

Tabla 14. FS recomendados en situación normal (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)

5.4 TIPOLOGÍA DE LAS SUPERFICIES DE DESLIZAMIENTO ANALIZADAS

Los escenarios de cálculo descritos no hacen ninguna referencia a la geometría de las superficies de deslizamiento que deben considerarse en cada uno de ellos.

En todas las situaciones de cálculo se realizan las siguientes comprobaciones relativas a la geometría de la superficie de deslizamiento:

- Estabilidad del conjunto nueva celda – terreno.
- Estabilidad interna de la masa de residuos.
- Estabilidad del conjunto nueva celda – impermeabilización de fondo.

En el presente estudio, al objeto de cubrir todas estas comprobaciones de cálculo, se han desarrollado las siguientes tipologías de deslizamiento:

Tipología de deslizamiento	Tipo de rotura	Situaciones consideradas
Estabilidad interna de la masa de residuos.	Circular por la cabeza del dique	a) Normal b) Accidental (tipo 1 y tipo 2)
Estabilidad del conjunto vertedero – terreno	Circular por el cimientado del dique	a) Normal b) Accidental (tipo 1 y tipo 2)
Estabilidad del conjunto vertedero – impermeabilización de fondo	Circular por la impermeabilización	a) Normal b) Accidental (tipo 1 y tipo 2)
	Poligonal aleatoria y predeterminada por la impermeabilización	a) Normal b) Accidental (tipo 1 y tipo 2)

Tabla 15. Tipología de las superficies de deslizamiento analizadas

5.4.1 SUPERFICIES DE DESLIZAMIENTO POR ELEMENTOS FINITOS

En el caso del análisis mediante elementos finitos, la localización y geometría de las superficies de deslizamiento no se define a priori, sino que resulta de la aplicación del método de reducción de resistencias (*Strength Reduction Method*), el cual permite identificar de manera natural el mecanismo de rotura más desfavorable para cada escenario de cálculo.

A fin de forzar la representación de las posibles superficies críticas identificadas en el equilibrio límite (rotura interna en la masa de residuos, rotura global por cimientado y rotura asociada a la impermeabilización de fondo), en el modelo de elementos finitos se ha introducido un **refinado específico de la malla en las zonas potencialmente débiles**, de manera que el cálculo sea capaz de concentrar las deformaciones plásticas en dichas interfaces. Este refinado permite que el método numérico capture tanto mecanismos circulares en el terreno como mecanismos poligonales condicionados por la presencia de la impermeabilización o las transiciones entre materiales.

En consecuencia, las superficies de deslizamiento contempladas en el equilibrio límite quedan implícitamente cubiertas en el modelo de elementos finitos, sin necesidad de definir su geometría



de forma previa, asegurando que la rotura se produzca en la interfaz o zona crítica más desfavorable bajo cada hipótesis de carga (normal o accidental).

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional	2/10 2025	VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 
---	----------------------	---

6 SLIDE – ANALISIS DE ESTABILIDAD POR EQUILIBRIO LIMITE

6.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SEGÚN PERFIL A-A´

6.1.1 SITUACIÓN NORMAL

6.1.1.1 Estabilidad interna de la masa de residuos

El comportamiento de estabilidad interna de la masa de residuo se evalúa mediante la consideración de superficies circulares representativas que discurren íntegramente por el cuerpo del vertedero y afloran por encima de la cabeza del dique, sin atravesarla.

Las potenciales roturas se representan junto con su factor de seguridad, tal y como refleja la figura adjunta:

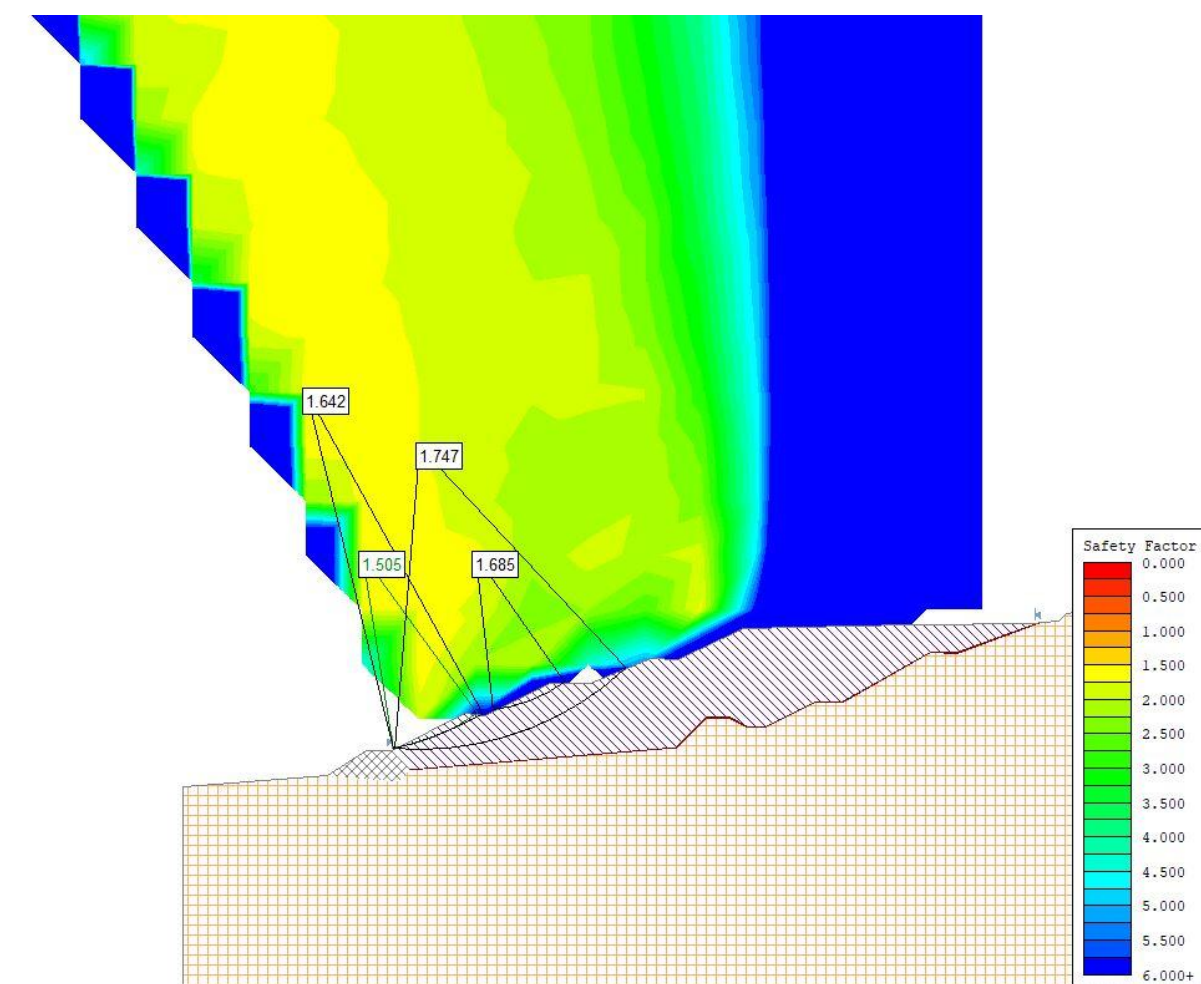


Figura 16. Situación normal: rotura circular por la cabeza del dique del perfil A-A´

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,5 ($FS = 1.505$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo normal.

6.1.1.2 Estabilidad vertedero-terreno

La estabilidad del conjunto vertedero-terreno se evalúa mediante la consideración de superficies circulares que atraviesan la cimentación del dique.

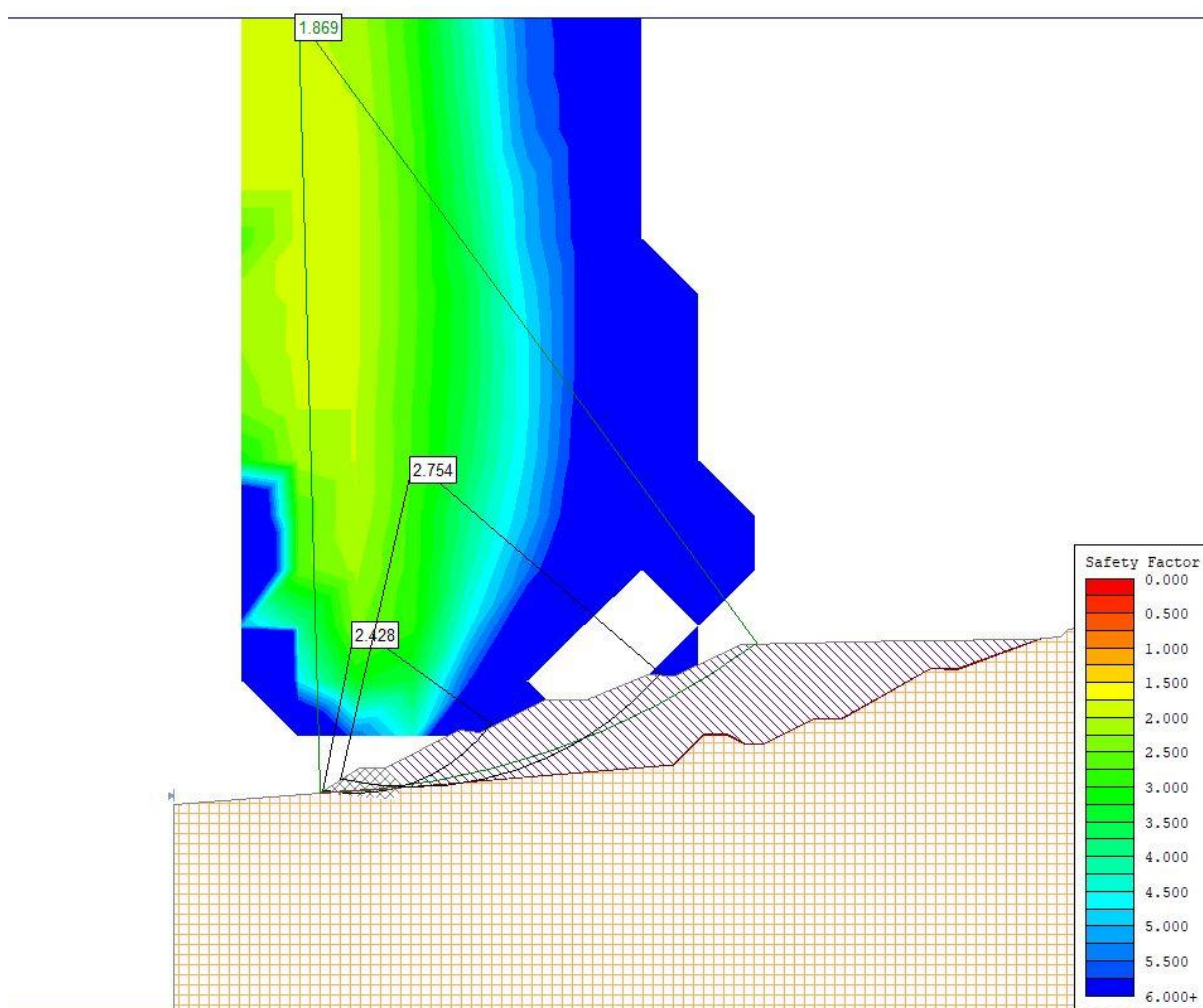


Figura 17. Situación normal: rotura circular por el cimient del dique del perfil A-A'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,5 ($FS = 1.869$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo normal.

6.1.1.3 Estabilidad de la celda en su conjunto

El resultado de este caso se muestra en la figura siguiente, donde las superficies circulares pésimas se desarrollan ampliamente sobre el conjunto de la celda.

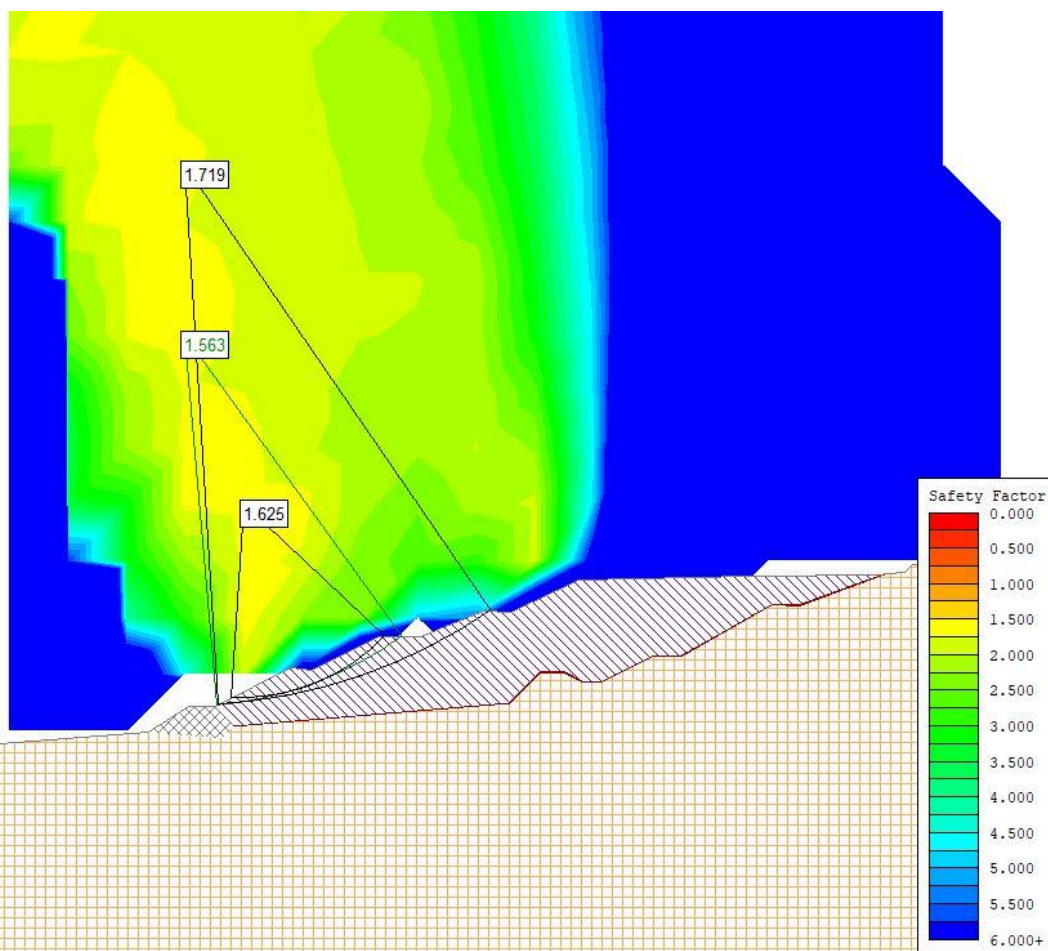


Figura 18. Situación normal: rotura circular por el conjunto del dique del perfil A-A'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,5 ($FS = 1,563$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo normal.

6.1.1.4 Rotura predeterminada poligonal

Se han tenido en cuenta las superficies poligonales generadas con un patrón aleatorio y también se han modelizado superficies con rotura poligonal con menor FS que discurren por la lámina de impermeabilización, al objeto de evaluar la estabilidad de la celda frente al deslizamiento generalizado a favor de esta superficie.

Las geometrías de las roturas se han establecido después de un gran número de iteraciones, de forma que discurren por el nivel geotécnico más desfavorable con la mayor longitud cinemáticamente posible. En este caso, como se indica, además de roturas predeterminadas también se ha empleado el sistema de búsqueda por trayectoria automática, que es uno de los métodos que se puede emplear para localizar el F.S. global mínimo para superficies no circulares. En todo caso el FS mínimo obtenido se corresponde con una de las superficies determinadas de forma automática,

con lo que la lámina de impermeabilización no supone una superficie preferencial de inestabilidad según la configuración geométrica estudiada:

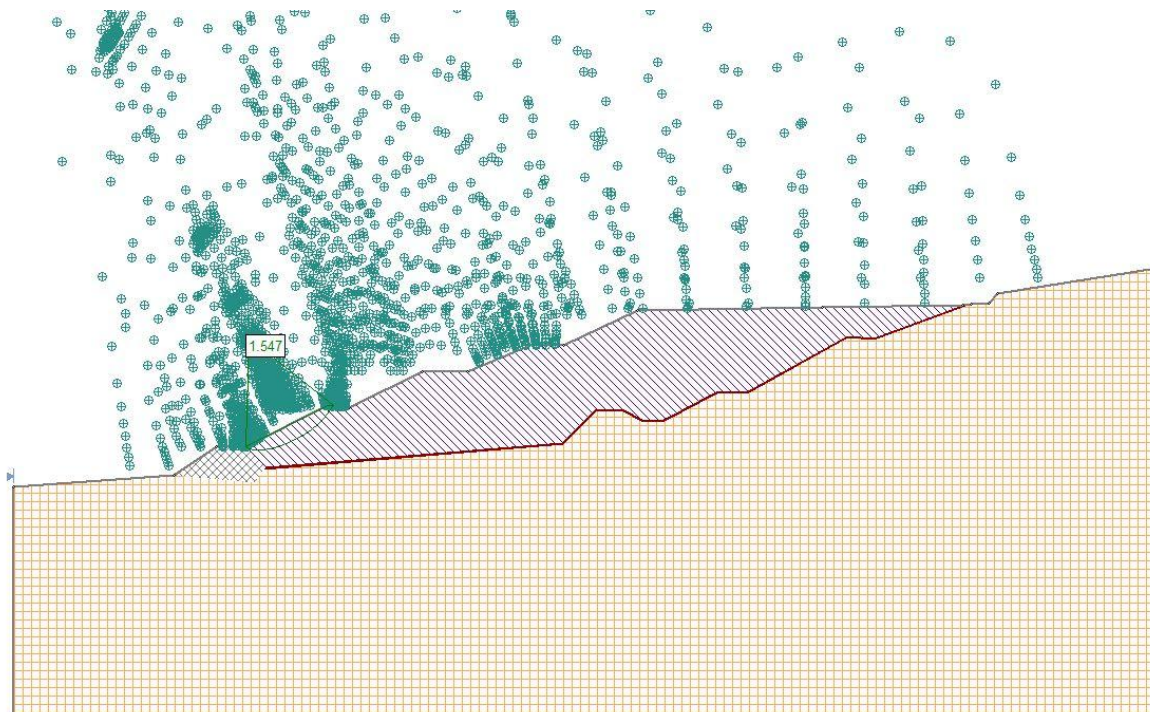


Figura 19. Situación normal: rotura predeterminada poligonal del perfil A-A'

En este caso, en la búsqueda automática por trayectoria se obtiene el F.S. mínimo que, por otra parte, es muy similar en cuanto al emplazamiento, inicio y salida, al obtenido en el estudio de rotura circular por la cabeza del dique. Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,5 (FS = 1,547 según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo normal.

6.1.2 SITUACIÓN ACCIDENTAL 1: ROTURA DE LA IMPERMEABILIZACIÓN BASAL

6.1.2.1 Estabilidad interna de la masa de residuos

Se analiza un hipotético escenario, donde la rotura o un fallo del sistema de impermeabilización posibilitara la entrada de agua en el interior de la celda, y un deficiente funcionamiento del drenaje de fondo generase una acumulación de agua/lixiviado en su interior (ver 4.4 NIVELES PIEZOMÉTRICOS CONSIDERADOS)

El comportamiento de estabilidad interna de la masa de residuo se evalúa mediante la consideración de superficies circulares representativas que discurren íntegramente por el cuerpo de la celda y afloran por encima de la cabeza del dique de cierre, sin atravesarlo.

Las potenciales roturas se representan junto con su factor de seguridad, tal y como refleja la figura adjunta:

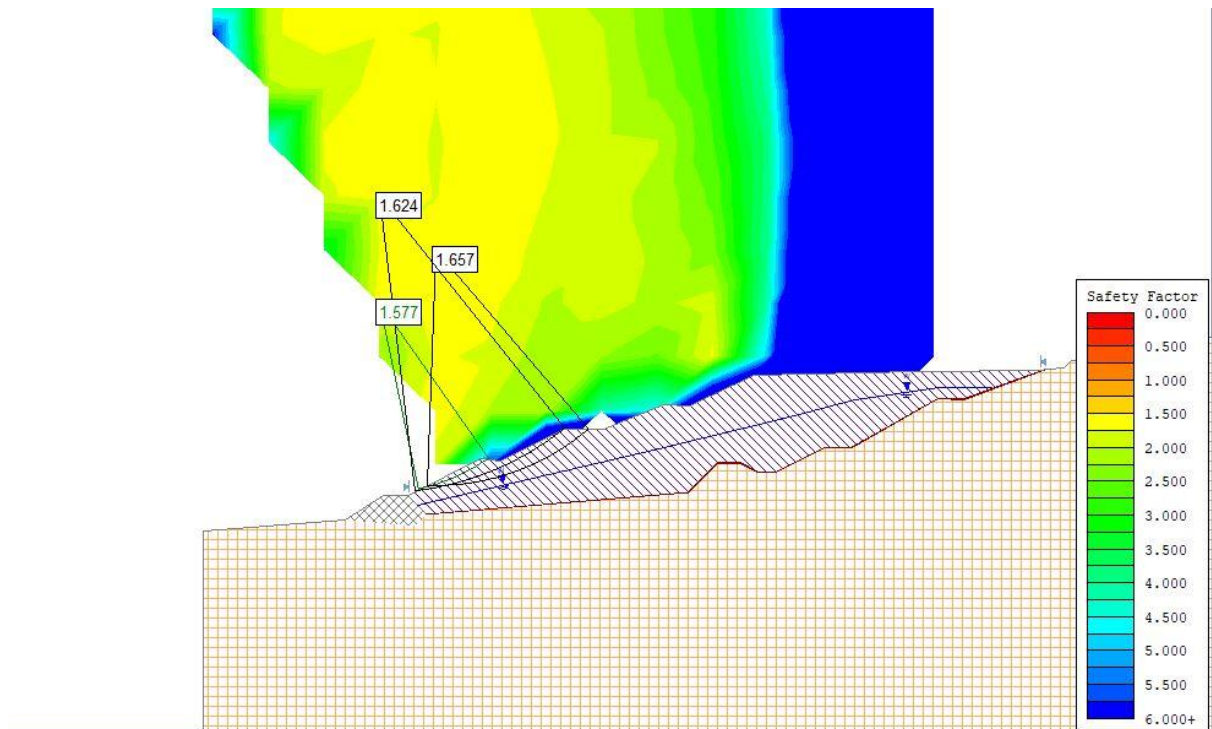


Figura 20. Situación accidental 1: rotura circular por la cabeza del dique del perfil A-A'

Los FS obtenidos son ampliamente superiores a 1,3 (FS = 1,577 según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 1.

6.1.2.2 Estabilidad vertedero-terreno

En este escenario, la estabilidad del conjunto vertedero-terreno se evalúa mediante la consideración de superficies circulares que atraviesan la cimentación del dique.

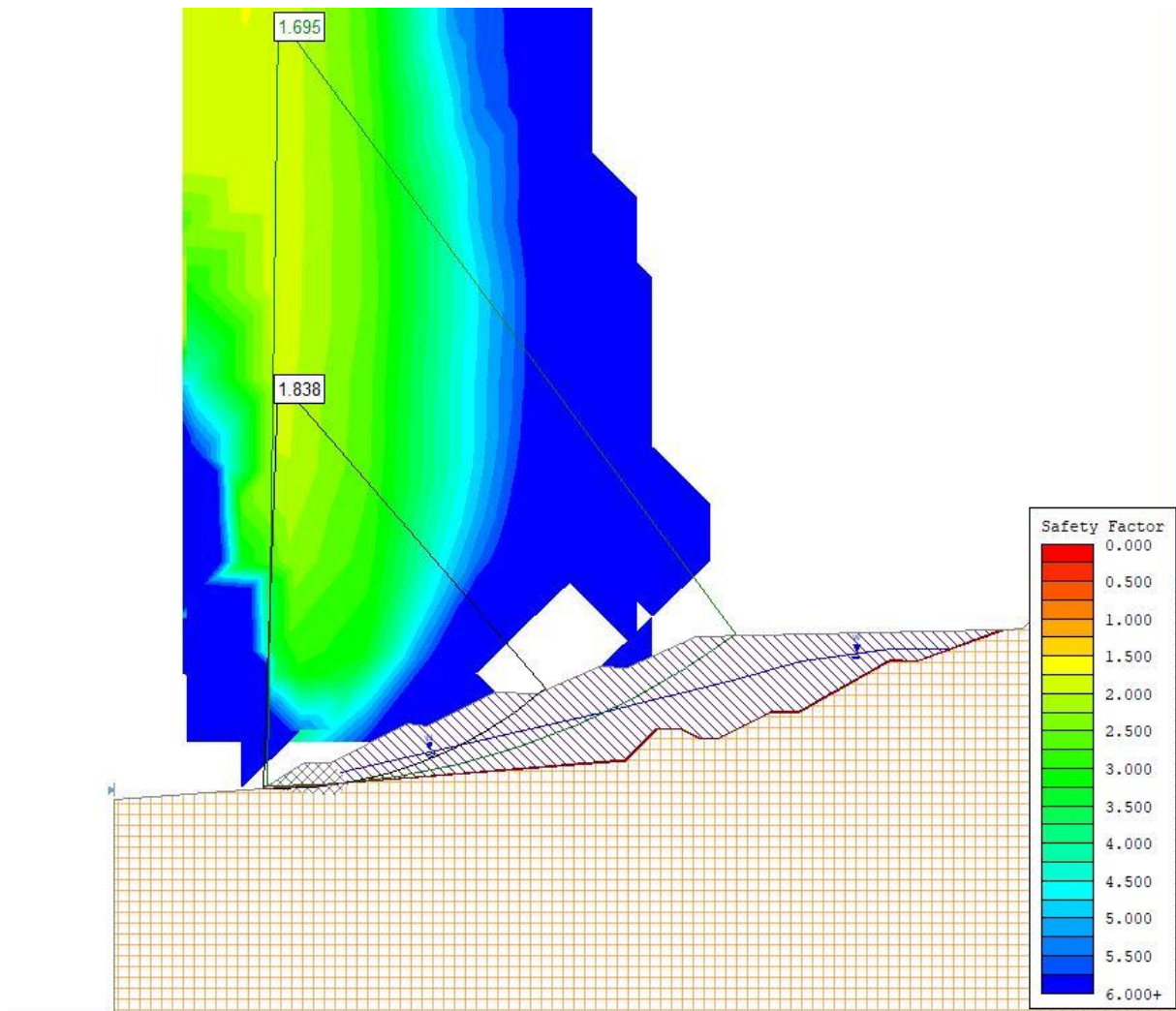


Figura 21. Situación accidental 1: rotura circular por el cimientto del dique del perfil A-A'

Los FS obtenidos son ampliamente superiores a 1,3 ($FS = 1,695$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 1.

6.1.2.3 Estabilidad conjunto vertedero

El resultado de este caso se muestra en la figura siguiente, donde las superficies circulares pésimas son tangentes al fondo del vertedero, en condición accidental 1.

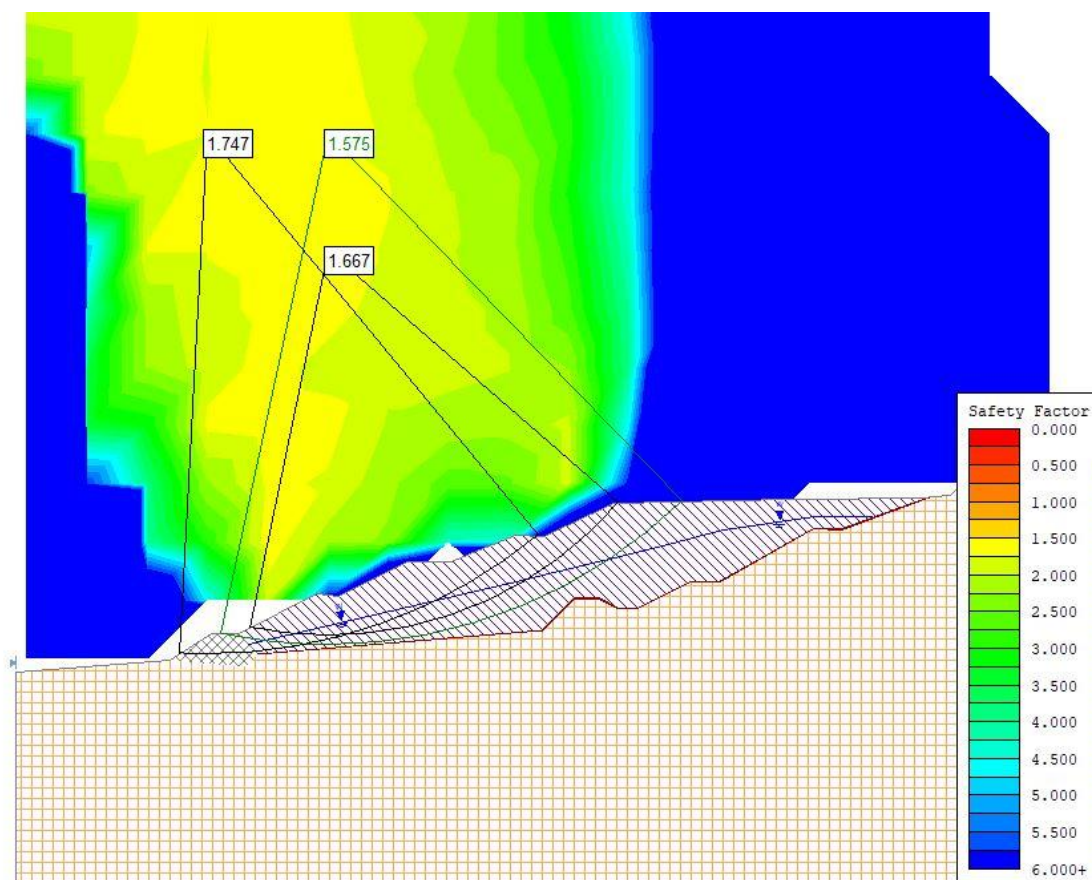


Figura 22. Situación accidental 1: rotura circular por el conjunto del vertedero del perfil A-A'

Los FS obtenidos son ampliamente superiores a 1,3 ($FS = 1,575$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 1. En este caso, el establecimiento del N.F. definido, genera una disminución del F.S. mínimo inferior al 4%.

6.1.2.4 Rotura poligonal

Se han modelizado las superficies con rotura poligonal con menor FS que discurran por la impermeabilización, al objeto de evaluar la estabilidad del vertedero frente al deslizamiento generalizado a favor de esta superficie. Todas ellas han sido analizadas en situación accidental 1.

Las geometrías de las roturas se han establecido después de un gran número de iteraciones, de forma que discurran por el nivel geotécnico más desfavorable con la mayor longitud cinemáticamente posible. En este caso, partiendo del estudio en situación normal, además de roturas predeterminadas también se ha empleado el sistema de búsqueda por trayectoria automática, que es uno de los métodos que se puede emplear para localizar el F.S. global mínimo para superficies no circulares, tal y como se muestra en la figura siguiente:

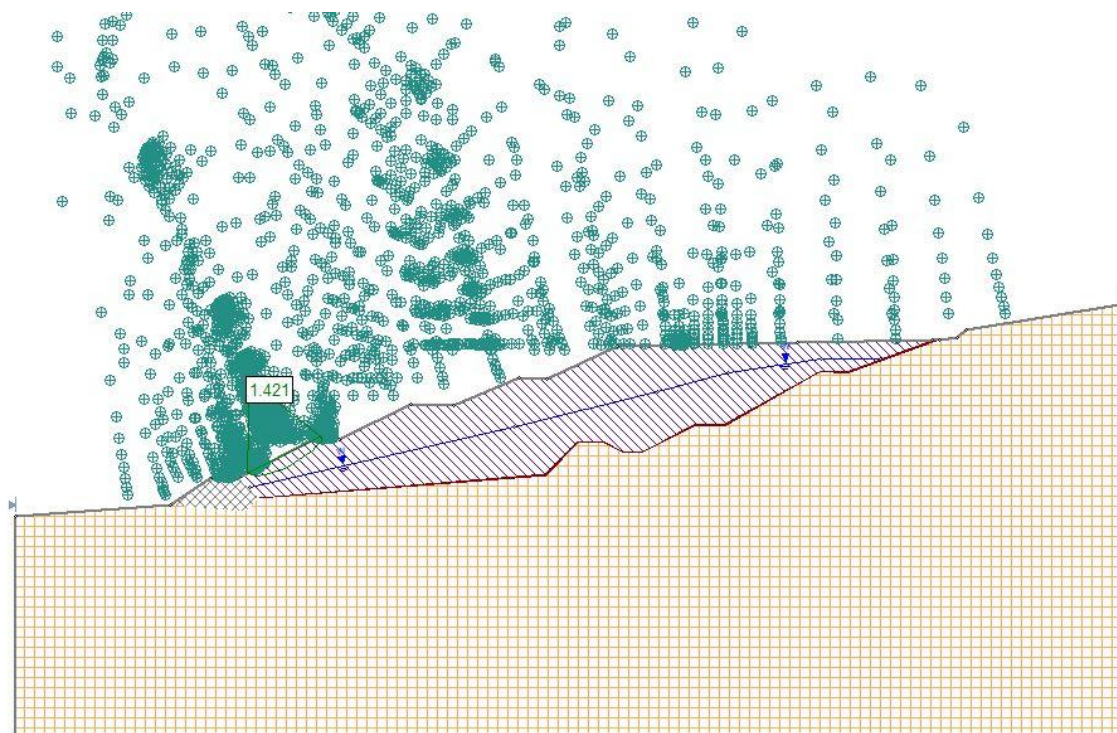


Figura 23. Situación accidental 1: rotura predeterminada poligonal del perfil A-A'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,3 ($FS = 1,421$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 1.

6.1.3 SITUACIÓN ACCIDENTAL 2: CONDICIONES SATURADAS BAJO IMPERMEABILIZACIÓN

6.1.3.1 Estabilidad interna de la masa de residuos

Se analiza un hipotético escenario, donde el ascenso del nivel piezométrico o una rotura del drenaje de fondo del vertedero generase una acumulación de agua/lixiviado en el interior del vertedero, afectando, además, a las características resistentes e hidrogeológicas de las unidades geotécnicas inferiores (roca alterada y sustrato rocoso) (ver capítulo 4.4. NIVELES PIEZOMÉTRICOS CONSIDERADOS)

En este caso, el comportamiento de estabilidad interna de la masa de residuo se evalúa mediante la consideración de superficies circulares representativas que discurren íntegramente por el cuerpo del vertedero y afloran por encima de la cabeza del dique de cierre, sin atravesarlo.

Las potenciales roturas se representan junto con su factor de seguridad, tal y como refleja la figura adjunta:

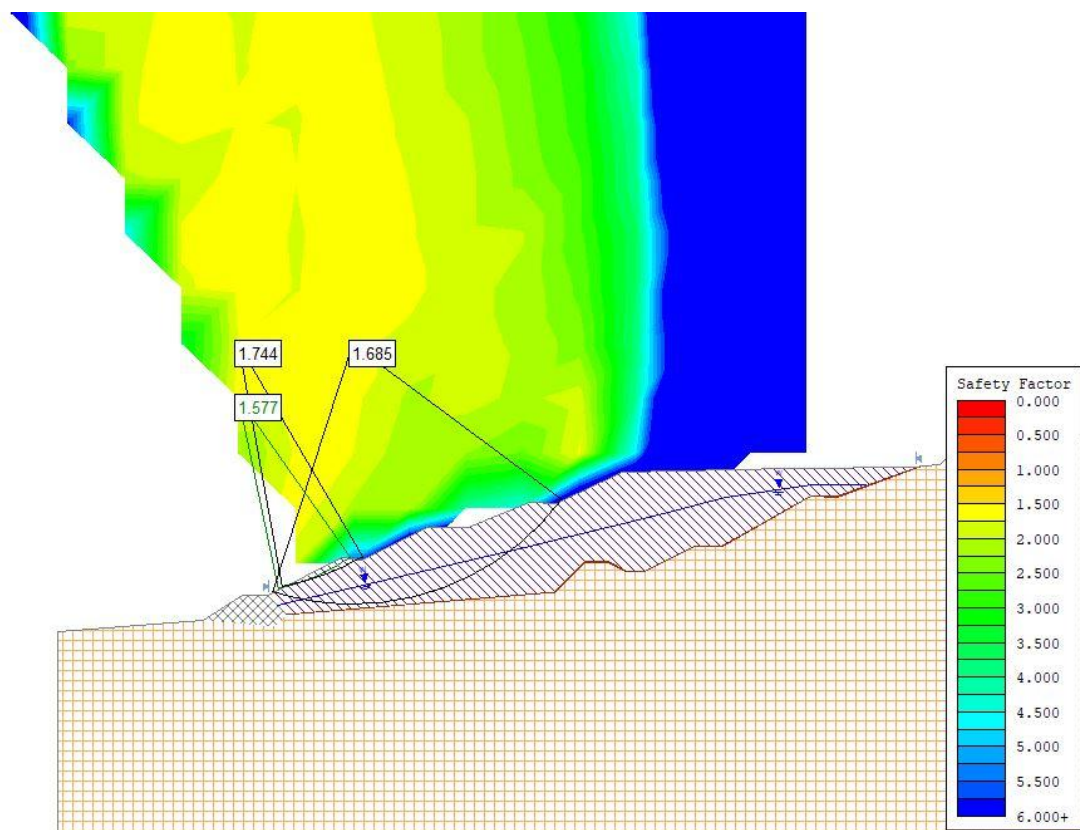


Figura 24. Situación accidental tipo 2: rotura circular por la cabeza del dique del perfil A-A'

Los FS obtenidos son superiores a 1,3 ($FS = 1,577$), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 2.

6.1.3.2 Estabilidad vertedero-terreno

En este escenario, la estabilidad del conjunto vertedero-terreno se evalúa mediante la consideración de superficies circulares que atraviesan la cimentación del dique.



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



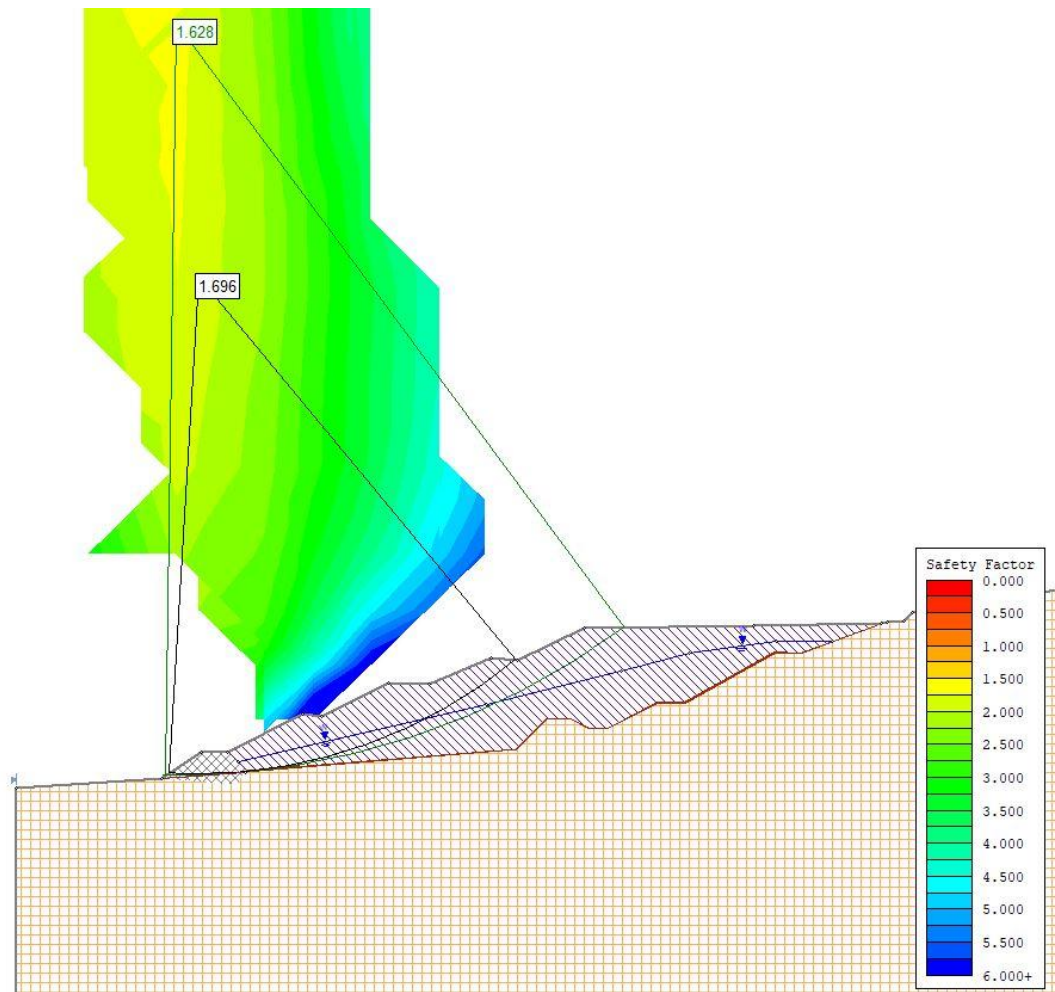


Figura 25. Situación accidental tipo 2: circular por el cimiento del dique del perfil A-A'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,3 ($FS = 1,628$), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 2.

6.1.3.3 Estabilidad de la celda en su conjunto

El resultado de este caso se muestra en la figura siguiente, donde las superficies circulares pésimas son tangentes al fondo de la celda, en condición accidental 2.

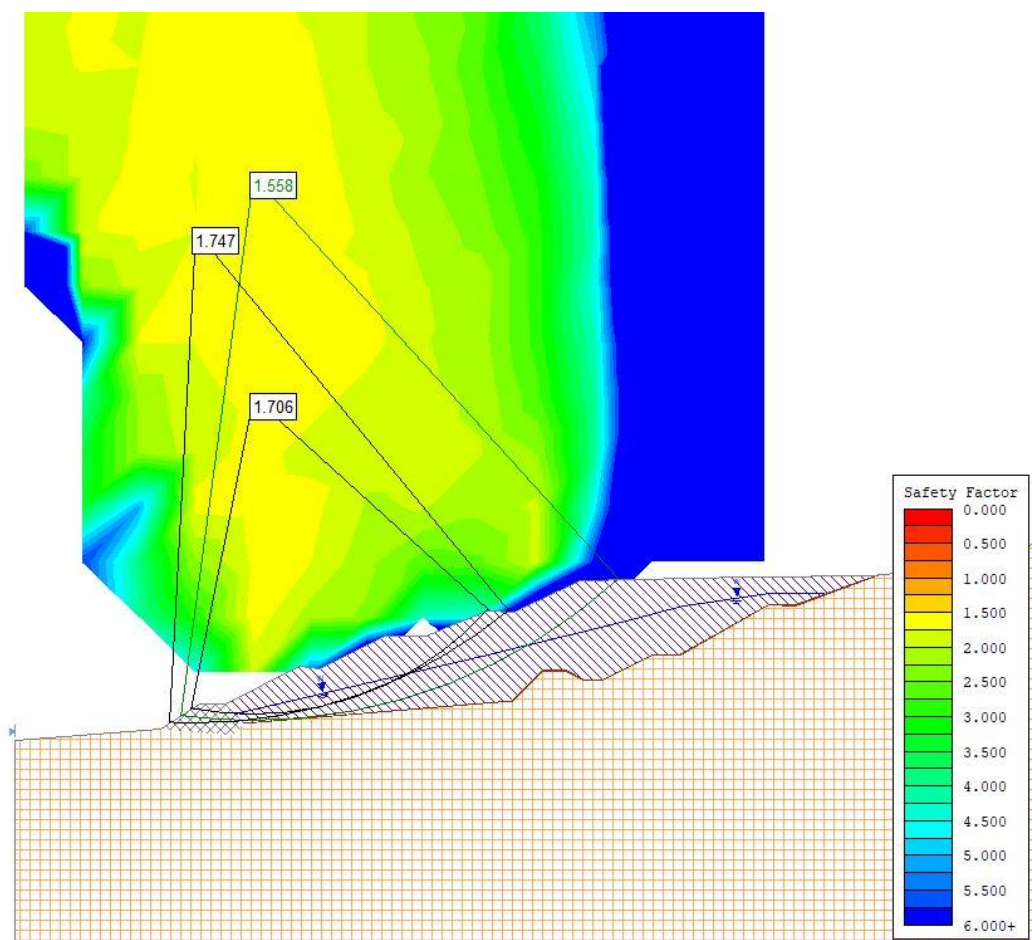


Figura 26. Situación accidental tipo 2: rotura circular por el conjunto del vertedero del perfil A-A'

Los FS obtenidos para este caso son inferiores a 1,3 (FS = 1,558), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 2.

6.1.3.4 Rotura poligonal

Se han modelizado las superficies con rotura poligonal con menor FS que discurren por la impermeabilización, al objeto de evaluar la estabilidad de la celda frente al deslizamiento generalizado a favor de esta superficie. Todas ellas han sido analizadas en situación accidental 2.

Las geometrías de las roturas se han establecido después de un gran número de iteraciones, de forma que discurren por el nivel geotécnico más desfavorable con la mayor longitud cinemáticamente posible. En este caso, partiendo del estudio en situación normal y accidental 1, además de roturas predeterminadas también se ha empleado el sistema de búsqueda por trayectoria automática, que es uno de los métodos que se puede emplear para localizar el FS global mínimo para superficies no circulares, tal y como se muestra en la figura siguiente:

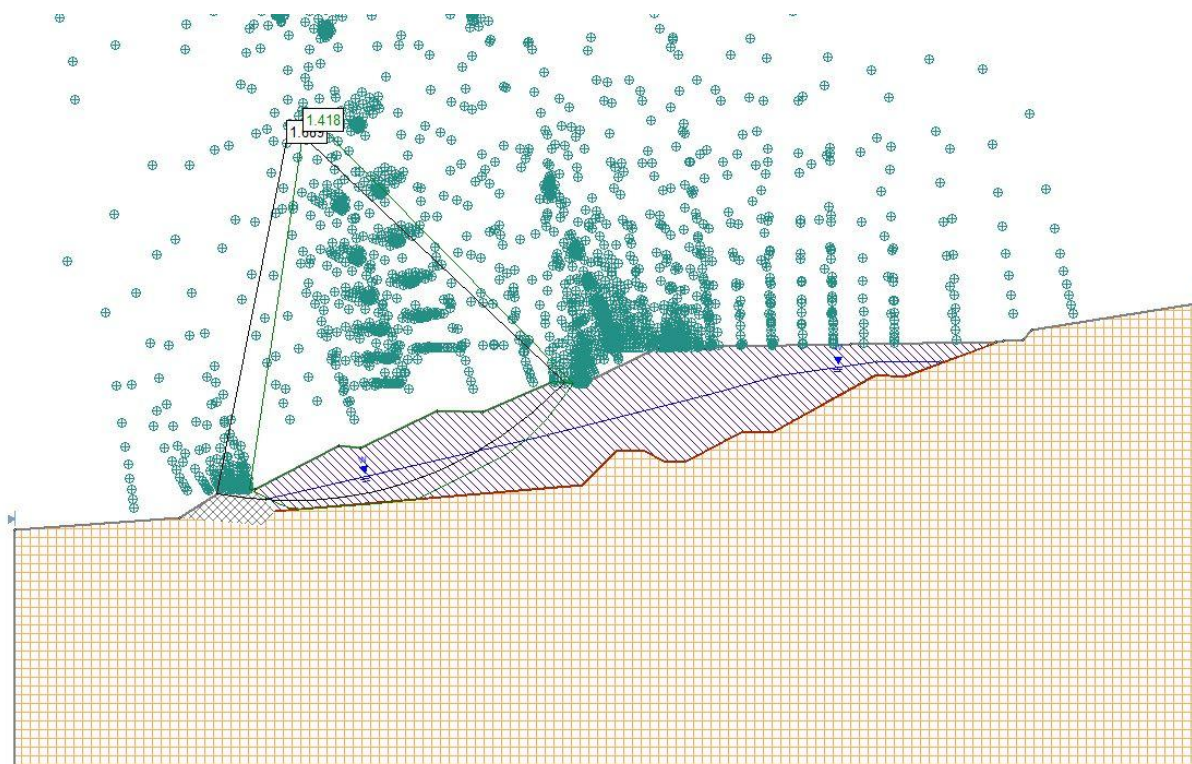


Figura 27. Situación accidental 2: rotura predeterminada poligonal del perfil A-A'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,3 ($FS = 1.639$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 2. En este caso, el establecimiento del N.F. definido en situación accidental 2, genera una disminución del F.S. mínimo del 8%, referido a la situación normal.

6.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SEGÚN PERFIL B-B'

6.2.1 SITUACIÓN NORMAL

6.2.1.1 Estabilidad interna de la masa de residuos

El comportamiento de la estabilidad interna de la masa de residuo se evalúa mediante la consideración de superficies circulares representativas que discurren íntegramente por la celda del vertedero y afloran al pie de la misma.

Las potenciales roturas se representan junto con su factor de seguridad, tal y como refleja la figura adjunta:

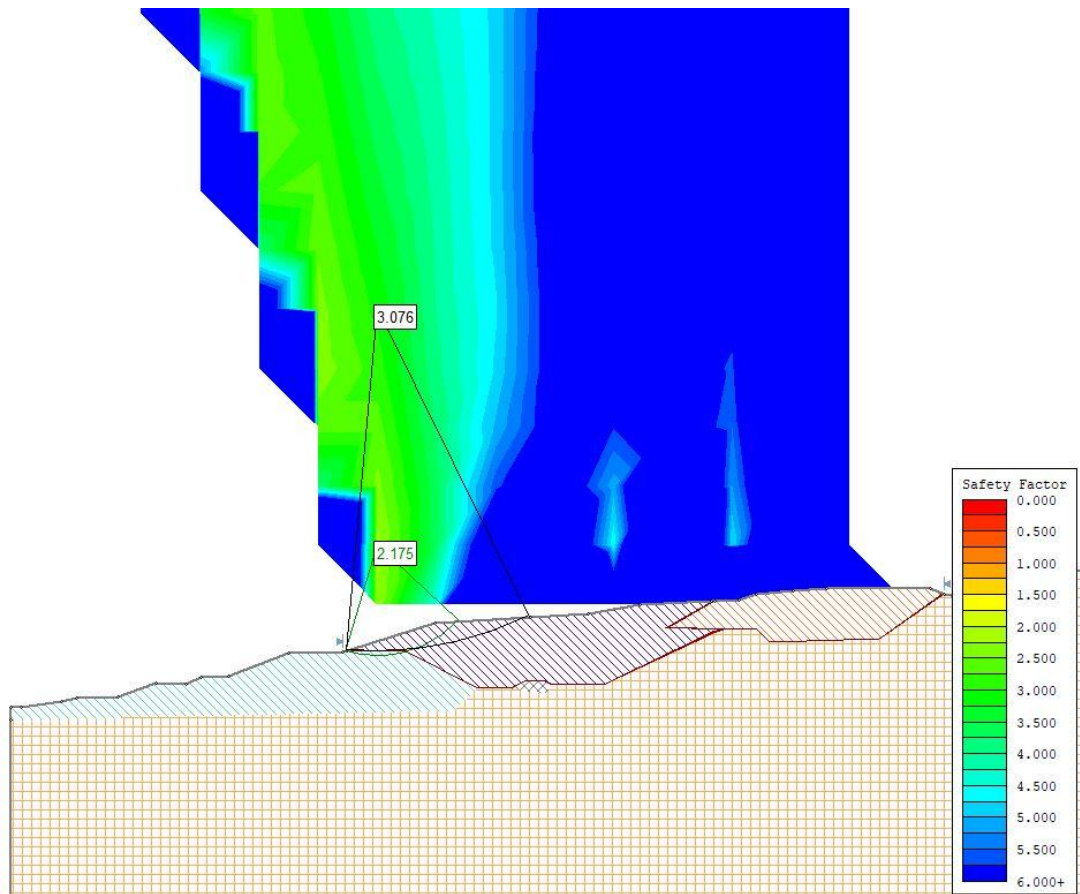


Figura 28. Situación normal: rotura circular por el pie de la celda del perfil B-B'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,5 (FS = 2,175 según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo normal.

6.2.1.2 Estabilidad vertedero-terreno

La estabilidad del conjunto vertedero-terreno se evalúa mediante la consideración de superficies circulares que atraviesan el apoyo de la celda en la zona potencialmente más desfavorable:

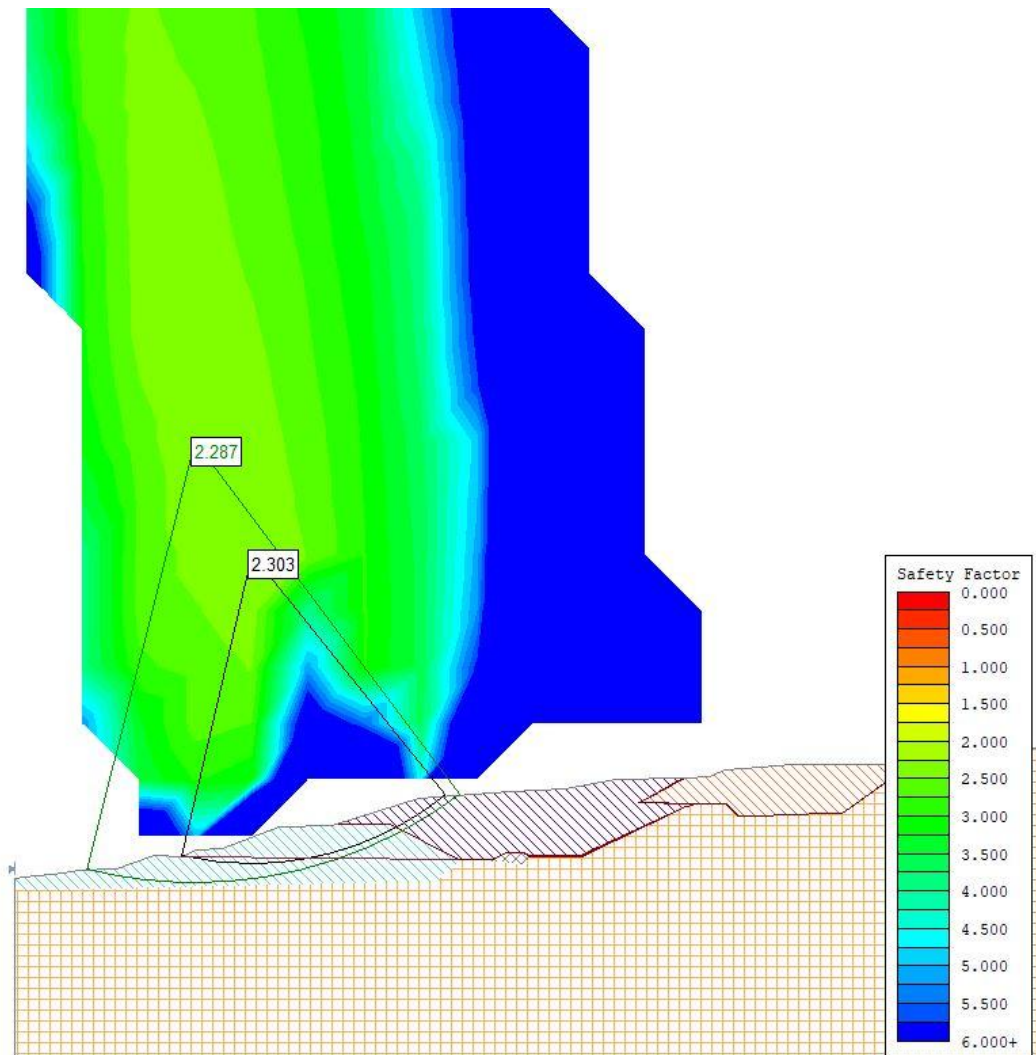


Figura 29. Situación normal: rotura circular por el cimientto de la celda del perfil B-B'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,5 (FS = 2,287 según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo normal.

6.2.1.3 Estabilidad de la celda en su conjunto

El resultado de este caso se muestra en la figura siguiente, donde las superficies circulares pésimas se desarrollan en el conjunto de la celda:

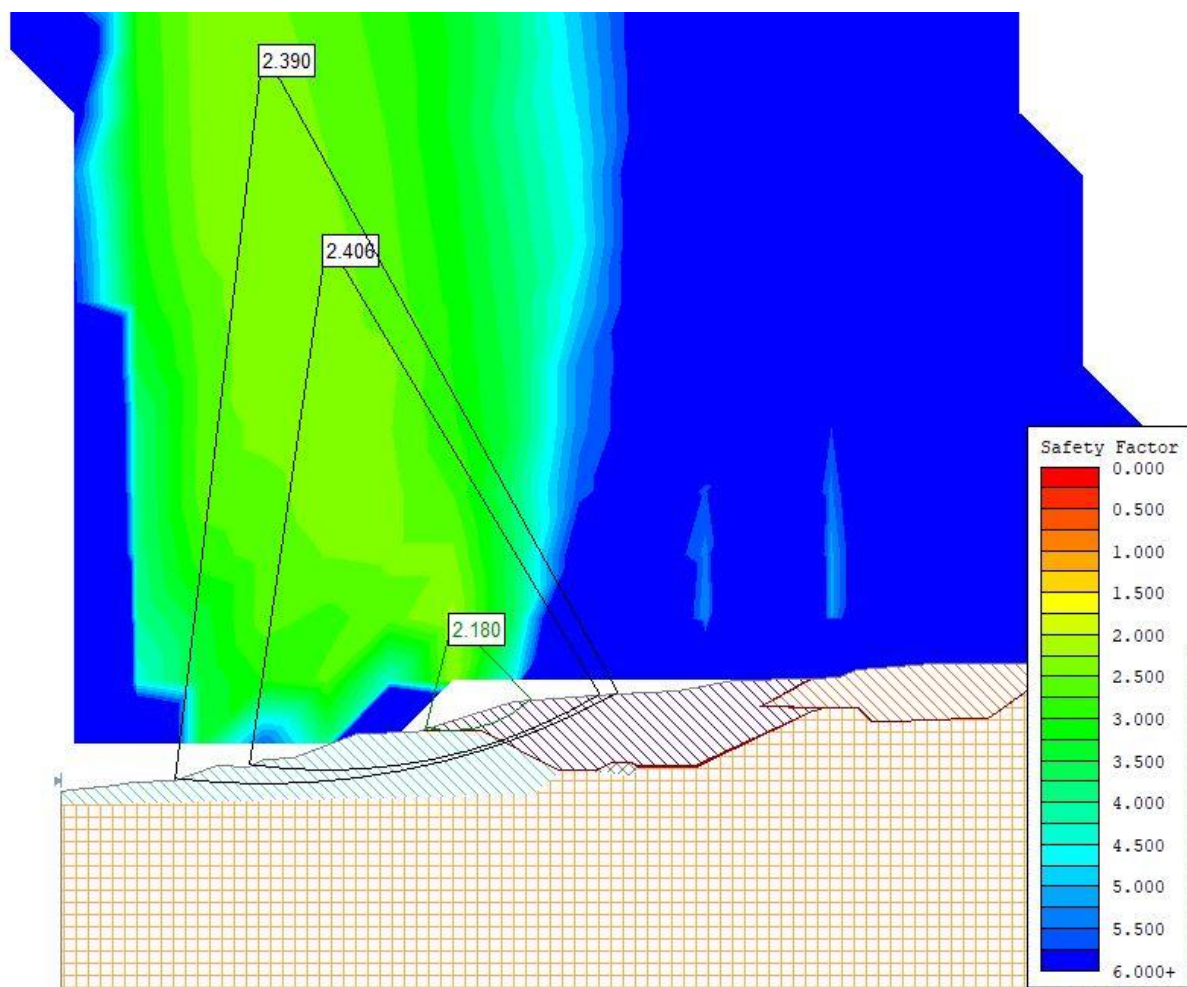


Figura 30. Situación normal: rotura circular por el conjunto de la celda

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,5 (FS = 2,180 según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo normal.

6.2.1.4 Rotura poligonal

Se han modelizado las superficies con rotura poligonal con menor FS que discurren por la impermeabilización, al objeto de evaluar la estabilidad del vertedero frente al deslizamiento generalizado a favor de esta superficie.

Las geometrías de las roturas se han establecido después de un gran número de iteraciones, de forma que discurren por el nivel geotécnico más desfavorable con la mayor longitud cinemáticamente posible. En este caso, además de roturas predeterminadas también se ha empleado el sistema de búsqueda por trayectoria automática, que es uno de los métodos que se puede emplear para localizar el FS global mínimo para superficies no circulares. En todo caso el F.S. mínimo obtenido se corresponde con una de las superficies predefinidas por iteración:

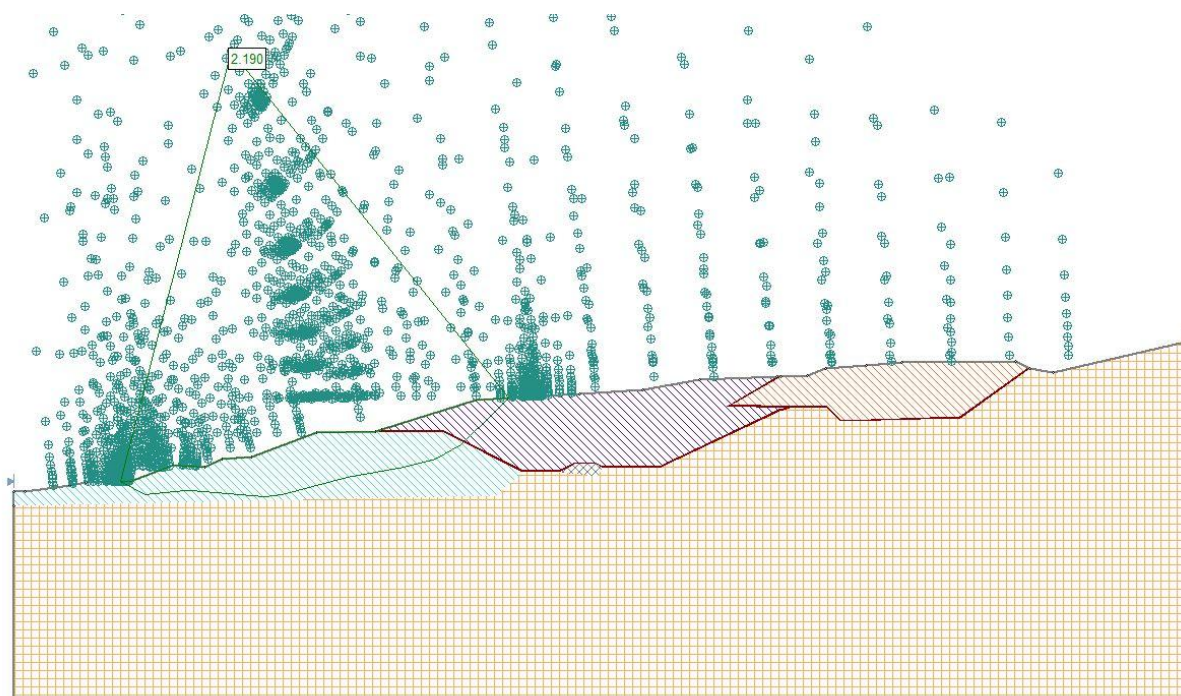


Figura 31. Situación normal: rotura predeterminada poligonal del perfil B-B'

Los FS obtenidos para este caso son superiores sensiblemente a 1,5 ($FS = 2,190$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo normal.

6.2.2 SITUACIÓN ACCIDENTAL 1: ROTURA DE LA IMPERMEABILIZACIÓN BASAL

6.2.2.1 Estabilidad interna de la masa de residuos

Se analiza un hipotético escenario, donde la rotura o un fallo del sistema de impermeabilización posibilitara la entrada de agua en el interior de la celda, y un deficiente funcionamiento del drenaje de fondo generase una acumulación de agua/lixiviado en su interior (ver capítulo 4.4.2. NIVELES PIEZOMÉTRICOS CONSIDERADOS)

El comportamiento de estabilidad interna de la masa de residuo se evalúa mediante la consideración de superficies circulares representativas que discurren íntegramente por el cuerpo de la celda y afloran al pie.

Las potenciales roturas se representan junto con su factor de seguridad, tal y como refleja la figura adjunta:

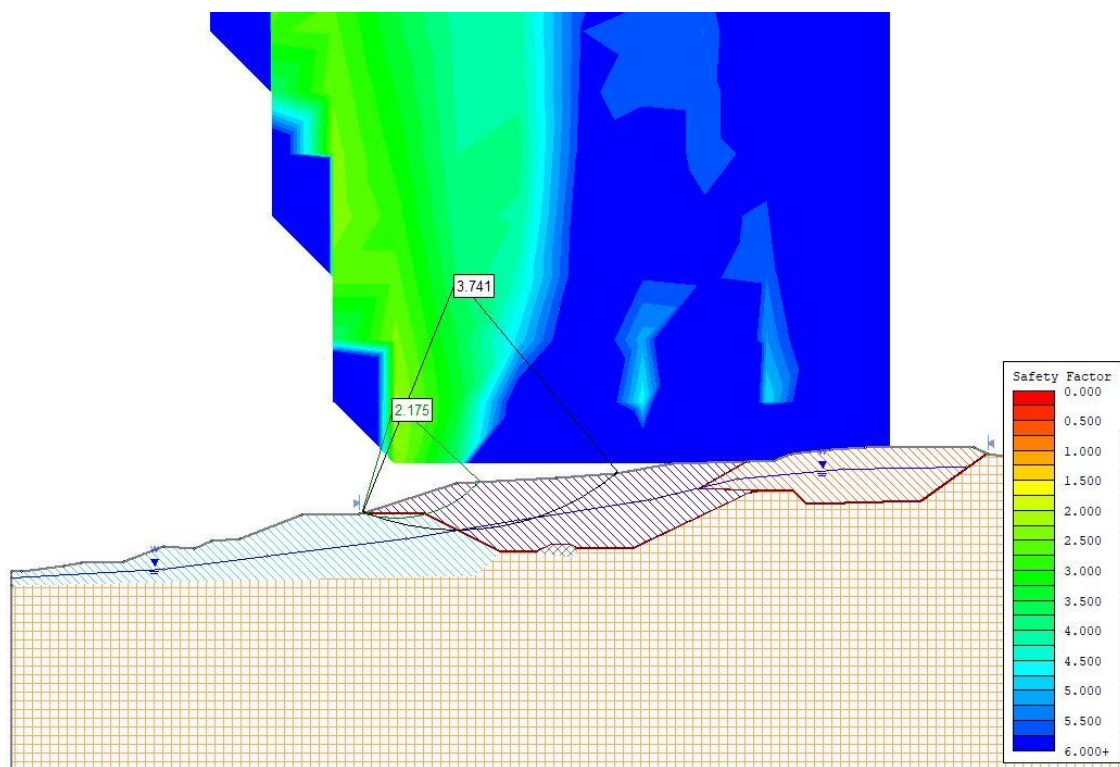


Figura 32. Situación accidental 1: rotura circular por el pie de la celda del perfil B-B'

Los FS obtenidos son superiores a 1,3 ($FS = 2,175$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 1. Al encontrarse el círculo de rotura por encima del nivel freático no se ve afectado.

6.2.2.2 Estabilidad vertedero-terreno

En este escenario, la estabilidad del conjunto vertedero-terreno se evalúa mediante la consideración de superficies circulares que atraviesan el apoyo de la celda:



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



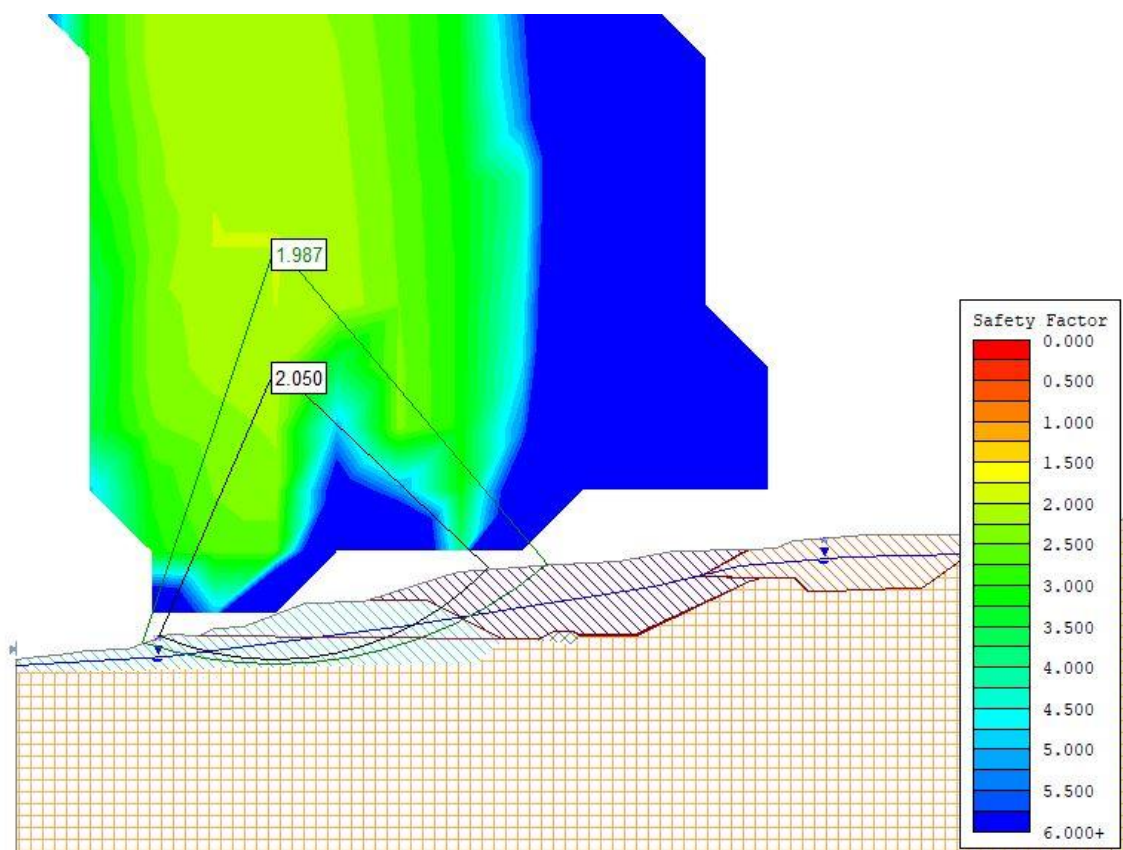


Figura 33. Situación accidental 1: rotura circular por el apoyo de la celda del perfil B-B'

Los FS obtenidos son superiores a 1,3 (FS = 1,987 según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 1.

6.2.2.3 Estabilidad de la celda en su conjunto

El resultado de este caso se muestra en la figura siguiente, donde las superficies circulares pésimas se desarrollan en el conjunto de la celda, en condición accidental 1.



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWBCBRR]



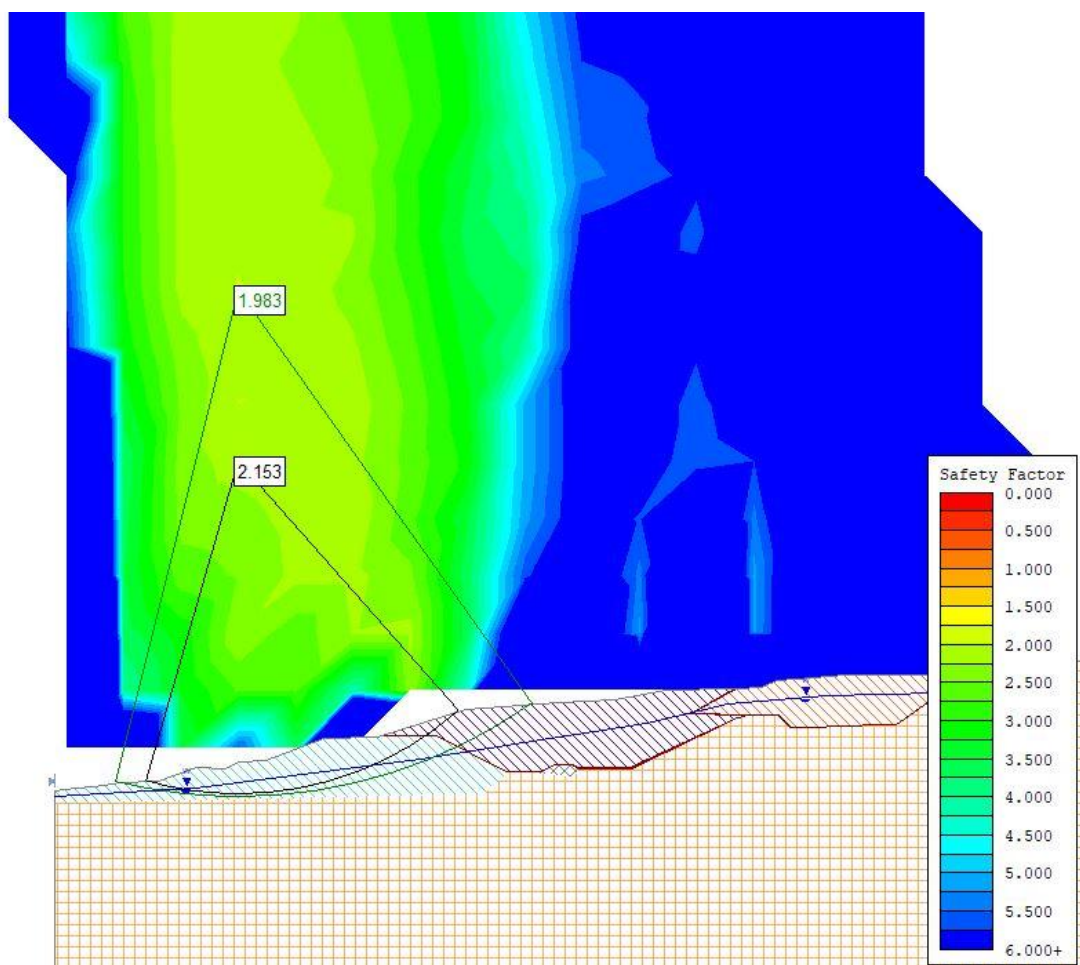


Figura 34. Situación accidental 1: rotura circular por el conjunto del vertedero del perfil B-B'

Los FS obtenidos son superiores a 1,3 ($FS = 1,983$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 1.

6.2.2.4 Rotura poligonal

Se han modelizado las superficies con rotura poligonal con menor FS que discurran por la lámina de impermeabilización, al objeto de evaluar la estabilidad del vertedero frente al deslizamiento generalizado a favor de esta superficie. Todas ellas han sido analizadas en situación accidental 1.

Las geometrías de las roturas se han establecido después de un gran número de iteraciones, de forma que discurran por el nivel geotécnico más desfavorable con la mayor longitud cinemáticamente posible. En este caso, partiendo del estudio en situación normal, además de roturas predeterminadas también se ha empleado el sistema de búsqueda por trayectoria automática, que es uno de los métodos que se puede emplear para localizar el FS global mínimo para superficies no circulares, tal y como se muestra en la figura siguiente:

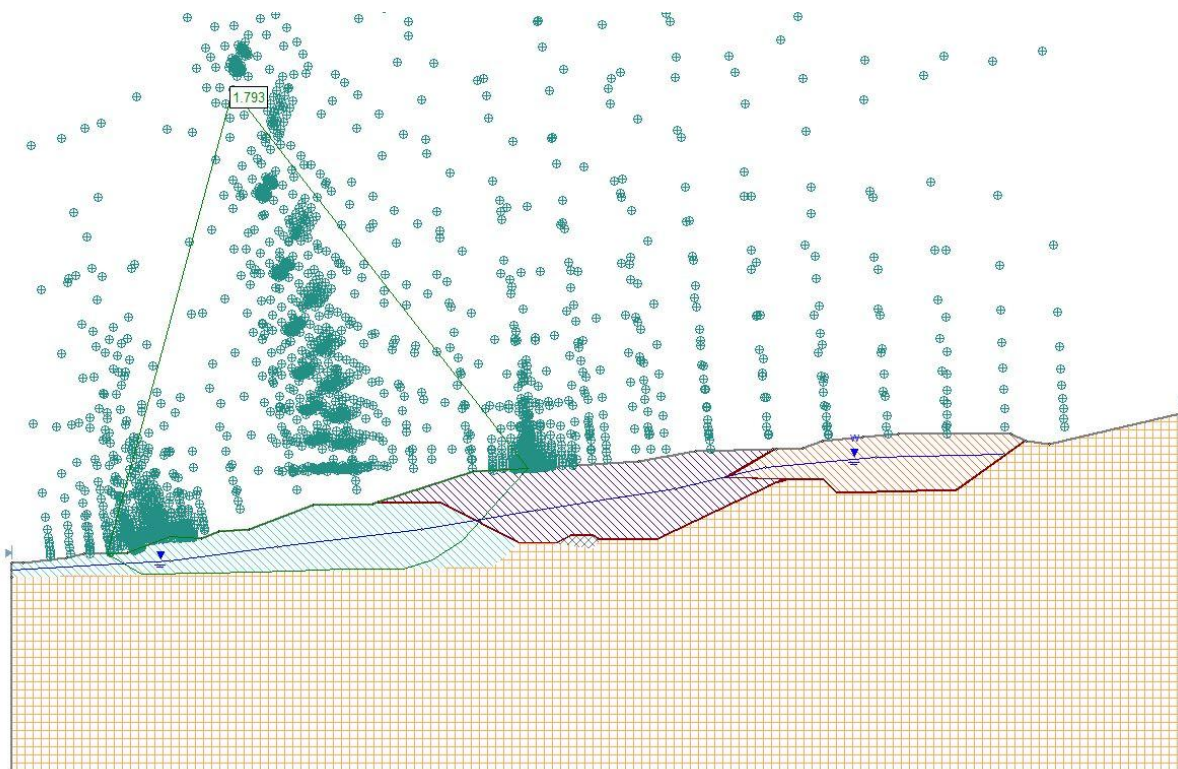


Figura 35. Situación accidental 1: rotura predeterminada poligonal del perfil B-B'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,3 ($FS = 1,793$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 1. En este caso, la lámina de impermeabilización no supone una superficie de rotura preferencial. De hecho, se obtiene el mismo FS que en condiciones normales porque el FS pésimo no está influenciado por el nivel piezométrico representado.

6.2.3 SITUACIÓN ACCIDENTAL 2: CONDICIONES SATURADAS BAJO IMPERMEABILIZACIÓN

6.2.3.1 Estabilidad interna de la masa de residuos

Se analiza un hipotético escenario, donde el ascenso del nivel piezométrico o una rotura del drenaje de fondo del vertedero generase una acumulación de agua/lixiviado en el interior del vertedero, afectando, además, a las características resistentes e hidrogeológicas de las unidades geotécnicas inferiores (impermeabilización, roca alterada y sustrato rocoso) (ver capítulo 4.4. NIVELES PIEZOMÉTRICOS CONSIDERADOS)

El comportamiento de estabilidad interna de la masa de residuo se evalúa mediante la consideración de superficies circulares representativas que discurren íntegramente por el cuerpo de la celda y afloran al pie.

Las potenciales roturas se representan junto con su factor de seguridad, tal y como refleja la figura adjunta:

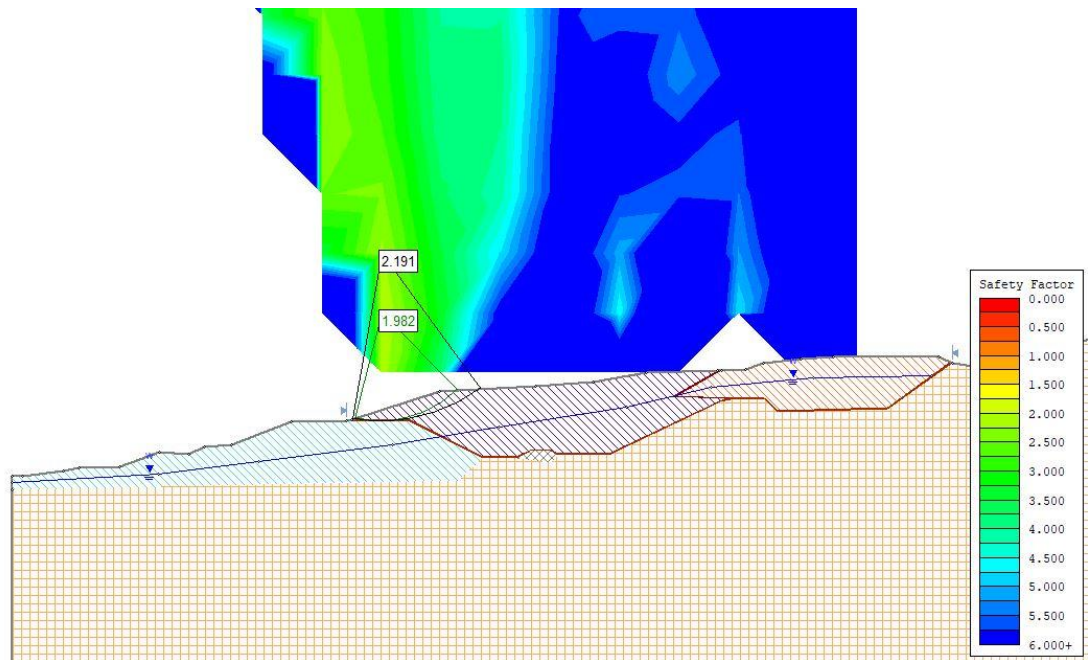


Figura 36. Situación accidental tipo 2: rotura circular al pie de la celda del perfil B-B'

Los FS obtenidos son superiores a 1,3 ($FS = 1,982$), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 2.

6.2.3.2 Estabilidad vertedero-terreno

En este escenario, la estabilidad del conjunto vertedero-terreno se evalúa mediante la consideración de superficies circulares que atraviesan el apoyo de la celda.

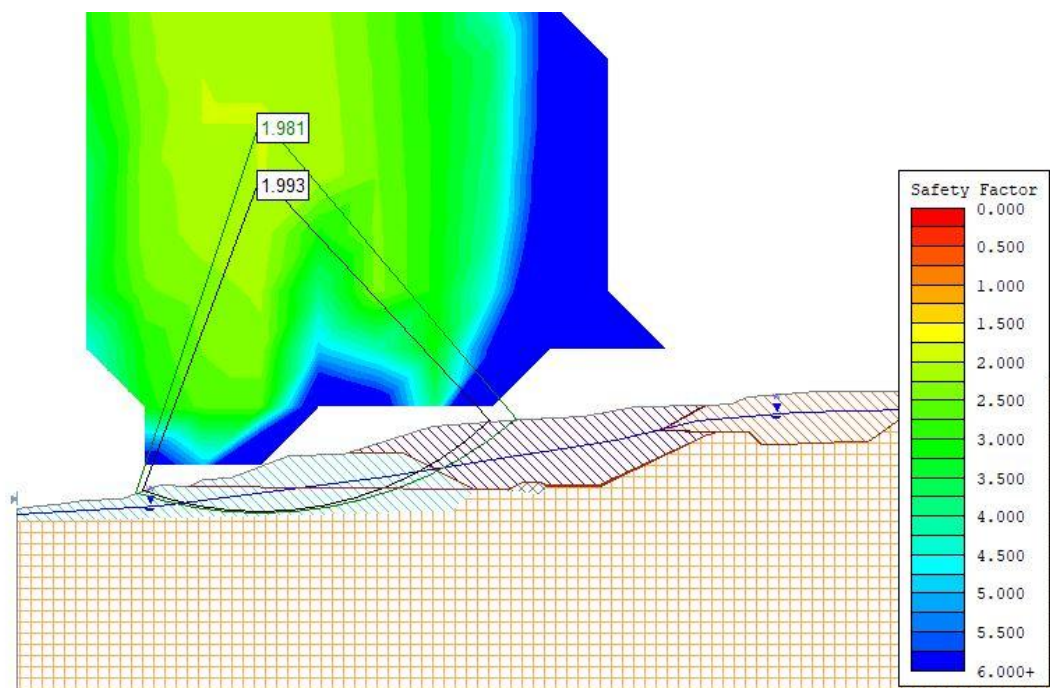


Figura 37. Situación accidental tipo 2: circular por el apoyo de la celda del perfil B-B'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,3 ($FS = 1.981$), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 2.

6.2.3.3 Estabilidad de la celda en su conjunto

El resultado de este caso se muestra en la figura siguiente, donde las superficies circulares pésimas en el conjunto de la celda, en condición accidental 2.



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



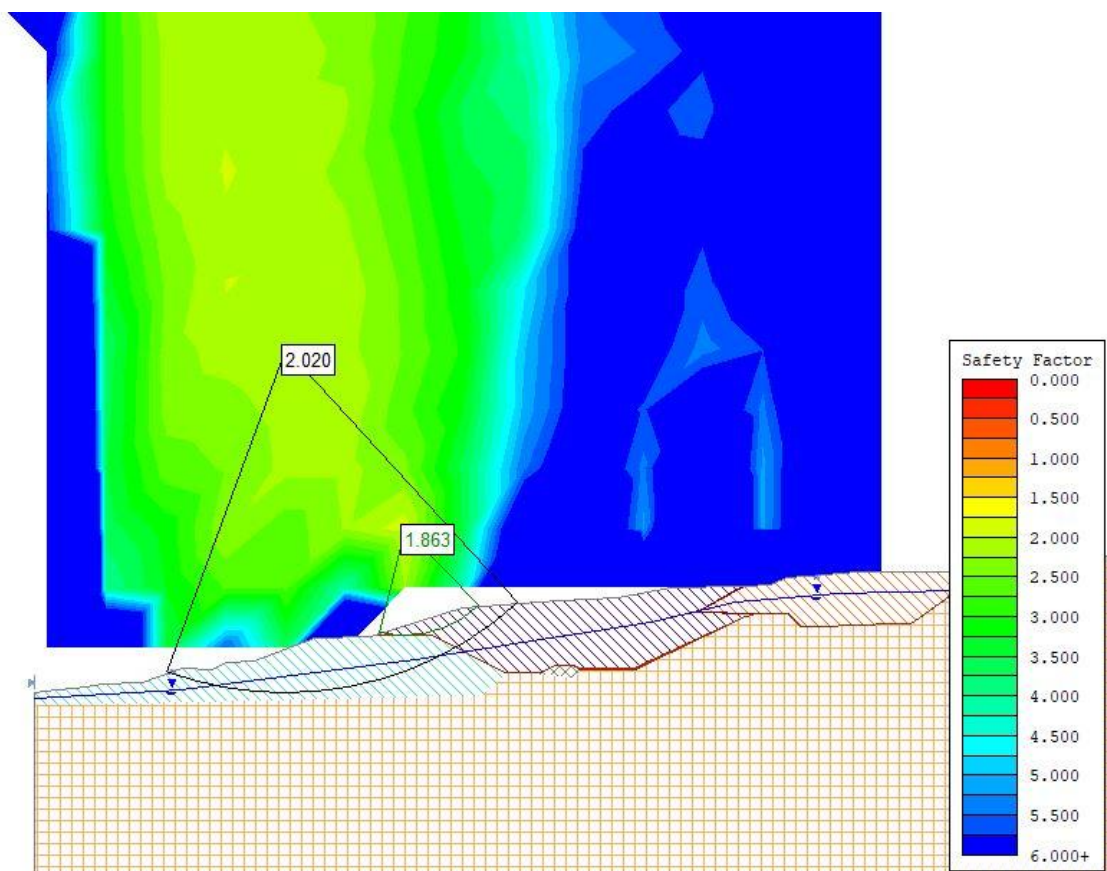


Figura 38. Situación accidental tipo 2: rotura circular por el conjunto de la celda del perfil B-B'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,3 ($FS = 1,863$), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 2.

6.2.3.4 Rotura poligonal

Se han modelizado las superficies con rotura poligonal con menor F.S. que discurran por la zona inferior de la impermeabilización, al objeto de evaluar la estabilidad del vertedero frente al deslizamiento generalizado a favor de esta superficie. Todas ellas han sido analizadas en situación accidental 2.

Las geometrías de las roturas se han establecido después de un gran número de iteraciones, de forma que discurran por el nivel geotécnico más desfavorable con la mayor longitud cinemáticamente posible. En este caso, partiendo del estudio en situación normal y accidental 1, además de roturas predeterminadas también se ha empleado el sistema de búsqueda por trayectoria automática, que es uno de los métodos que se puede emplear para localizar el FS global mínimo para superficies no circulares, tal y como se muestra en la figura siguiente:

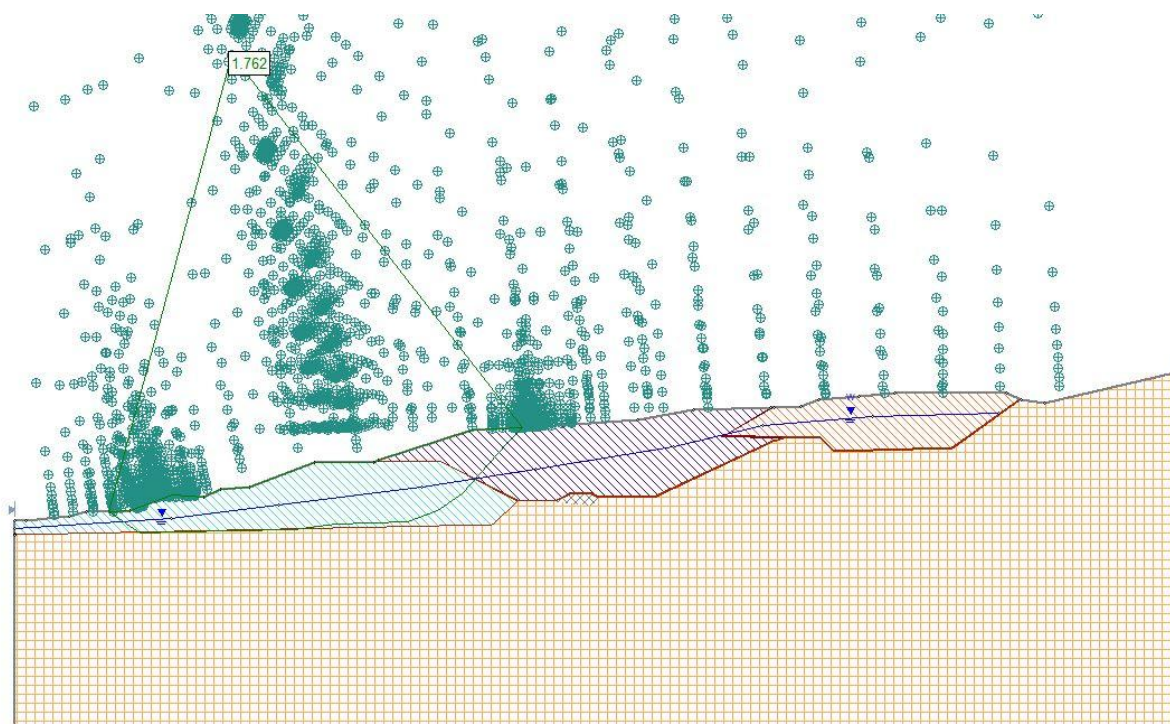


Figura 39. Situación accidental 2: rotura predeterminada poligonal del perfil B-B'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,3 (FS = 1.553 según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 2.

6.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SEGÚN PERFIL C-C'

6.3.1 SITUACIÓN NORMAL

6.3.1.1 Estabilidad interna de la masa de residuos

El comportamiento de la estabilidad interna de la masa de residuo se evalúa mediante la consideración de superficies circulares representativas que discurren íntegramente por la celda del vertedero y afloran al pie de la misma.

Las potenciales roturas se representan junto con su factor de seguridad, tal y como refleja la figura adjunta:

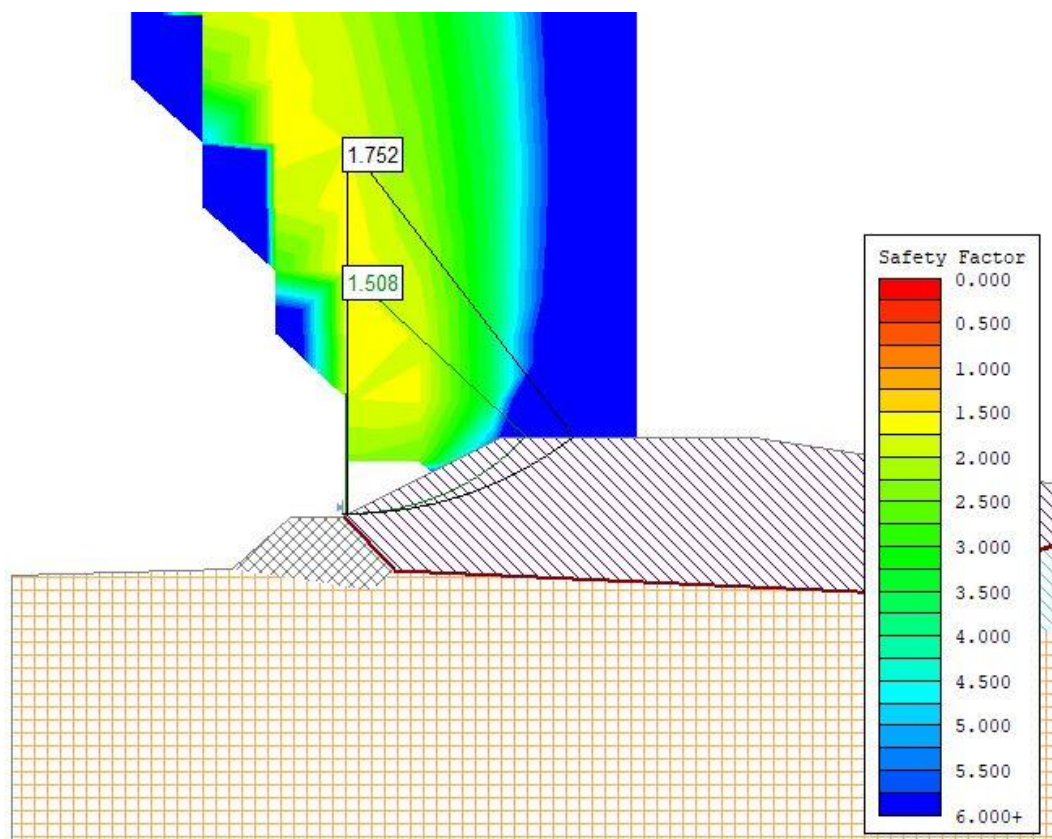


Figura 40. Situación normal: rotura circular por el pie de la celda del perfil C-C'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,5 (FS = 1.508 según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo normal.

6.3.1.2 Estabilidad vertedero-terreno

La estabilidad del conjunto vertedero-terreno se evalúa mediante la consideración de superficies circulares que atraviesan el apoyo de la celda en la zona potencialmente más desfavorable:

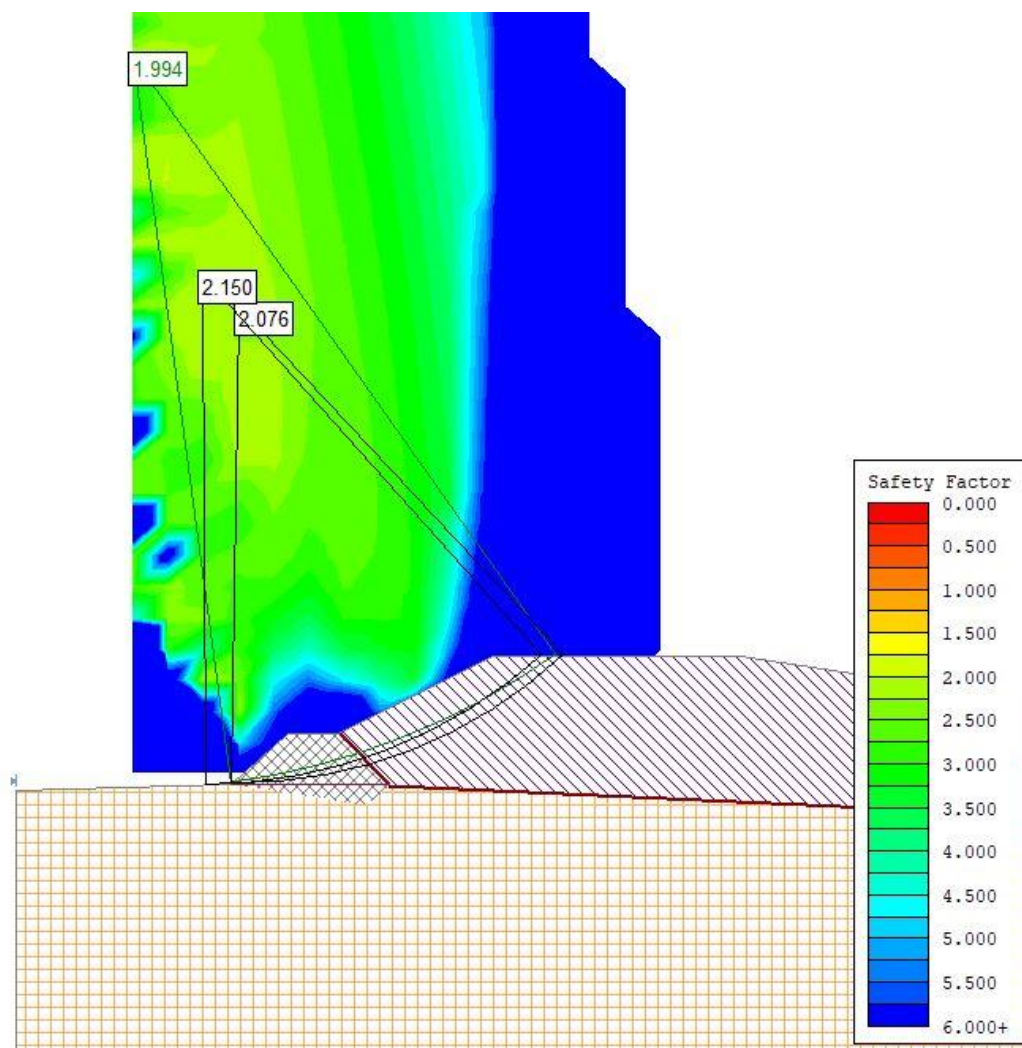


Figura 41. Situación normal: rotura circular por el cimientto de la celda del perfil C-C'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,5 ($FS = 1.994$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo normal.

6.3.1.3 Estabilidad de la celda en su conjunto

El resultado de este caso se muestra en la figura siguiente, donde las superficies circulares pésimas se desarrollan en el conjunto de la celda:

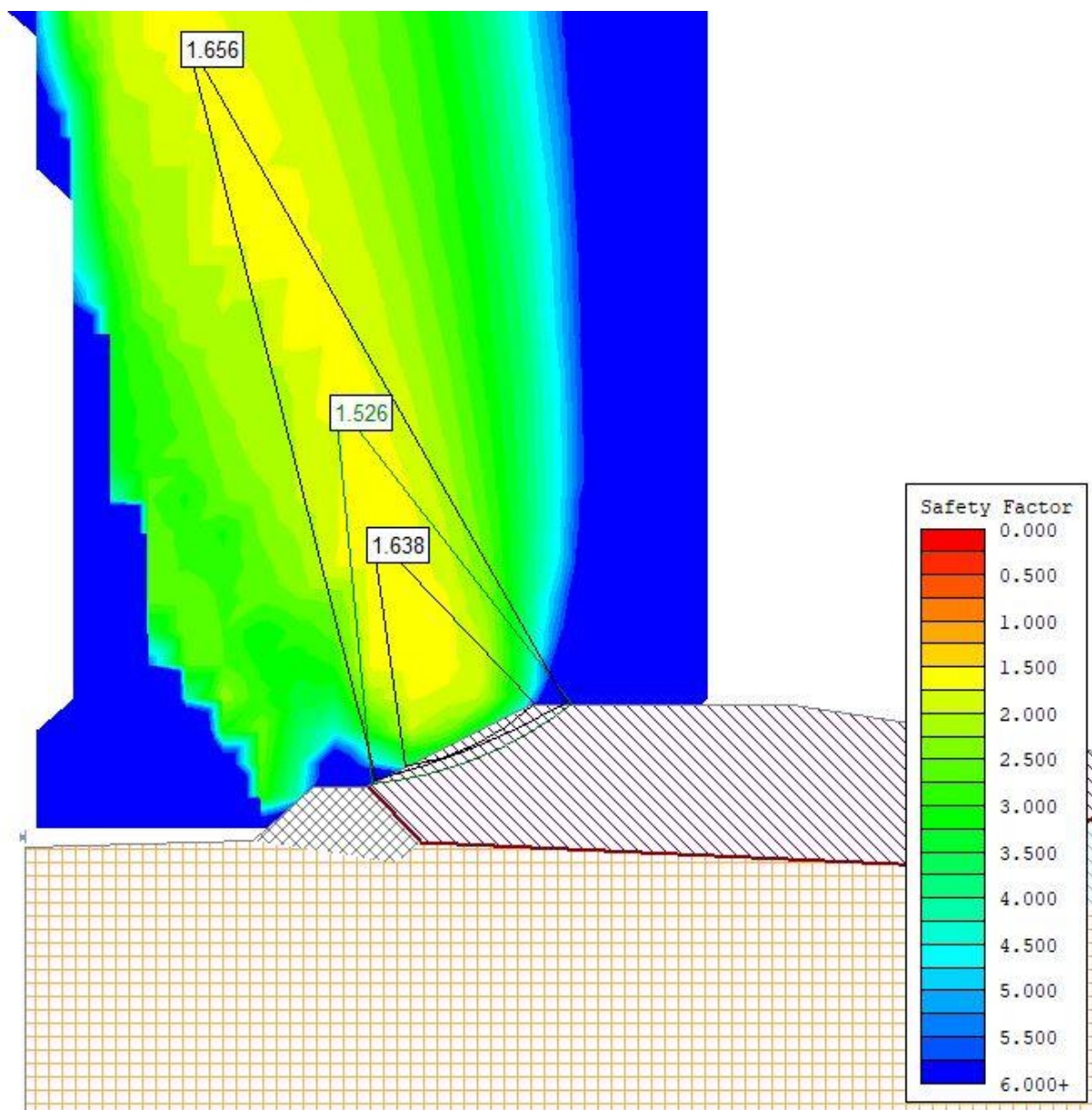


Figura 42. Situación normal: rotura circular por el conjunto de la celda

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,5 (FS = 1.526 según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo normal.

6.3.1.4 Rotura poligonal

Se han modelizado las superficies con rotura poligonal con menor FS que discurran por la impermeabilización, al objeto de evaluar la estabilidad del vertedero frente al deslizamiento generalizado a favor de esta superficie.

Las geometrías de las roturas se han establecido después de un gran número de iteraciones, de forma que discurran por el nivel geotécnico más desfavorable con la mayor longitud cinemáticamente posible. En este caso, además de roturas predeterminadas también se ha empleado

el sistema de búsqueda por trayectoria automática, que es uno de los métodos que se puede emplear para localizar el FS global mínimo para superficies no circulares. En todo caso el F.S. mínimo obtenido se corresponde con una de las superficies predefinidas por iteración:

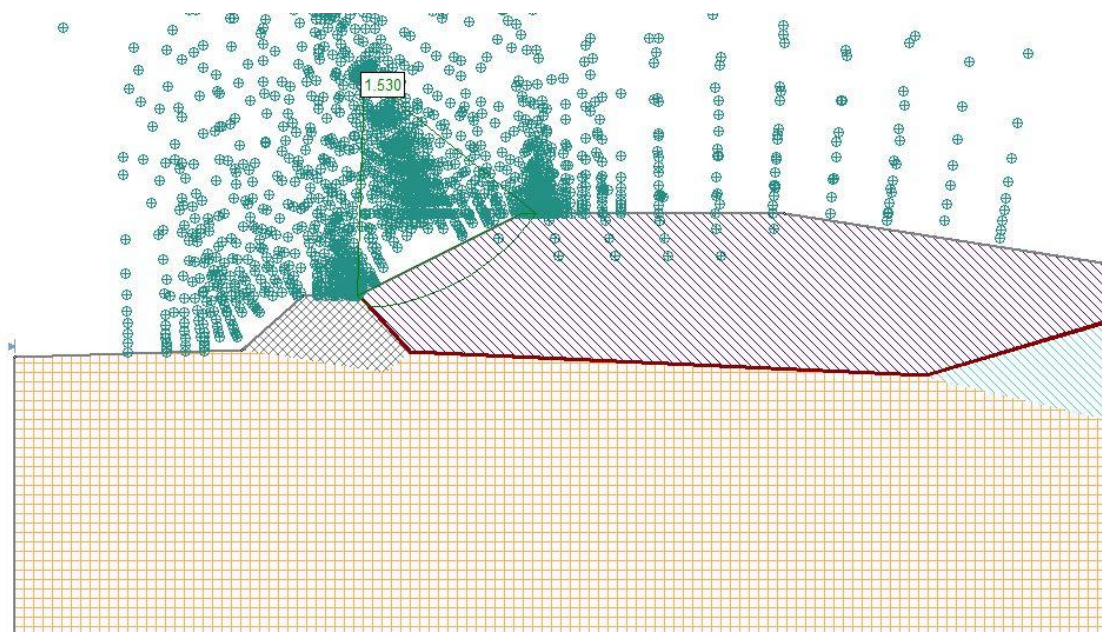


Figura 43. Situación normal: rotura predeterminada poligonal del perfil C-C'

Los FS obtenidos para este caso son superiores sensiblemente a 1,5 (FS = 1,530 según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo normal.

6.3.2 SITUACIÓN ACCIDENTAL 1: ROTURA DE LA IMPERMEABILIZACIÓN BASAL

6.3.2.1 Estabilidad interna de la masa de residuos

Se analiza un hipotético escenario, donde la rotura o un fallo del sistema de impermeabilización posibilitara la entrada de agua en el interior de la celda, y un deficiente funcionamiento del drenaje de fondo generase una acumulación de agua/lixiviado en su interior (ver capítulo 4.4.2. NIVELES PIEZOMÉTRICOS CONSIDERADOS)

El comportamiento de estabilidad interna de la masa de residuo se evalúa mediante la consideración de superficies circulares representativas que discurren íntegramente por el cuerpo de la celda y afloran al pie.

Las potenciales roturas se representan junto con su factor de seguridad, tal y como refleja la figura adjunta:

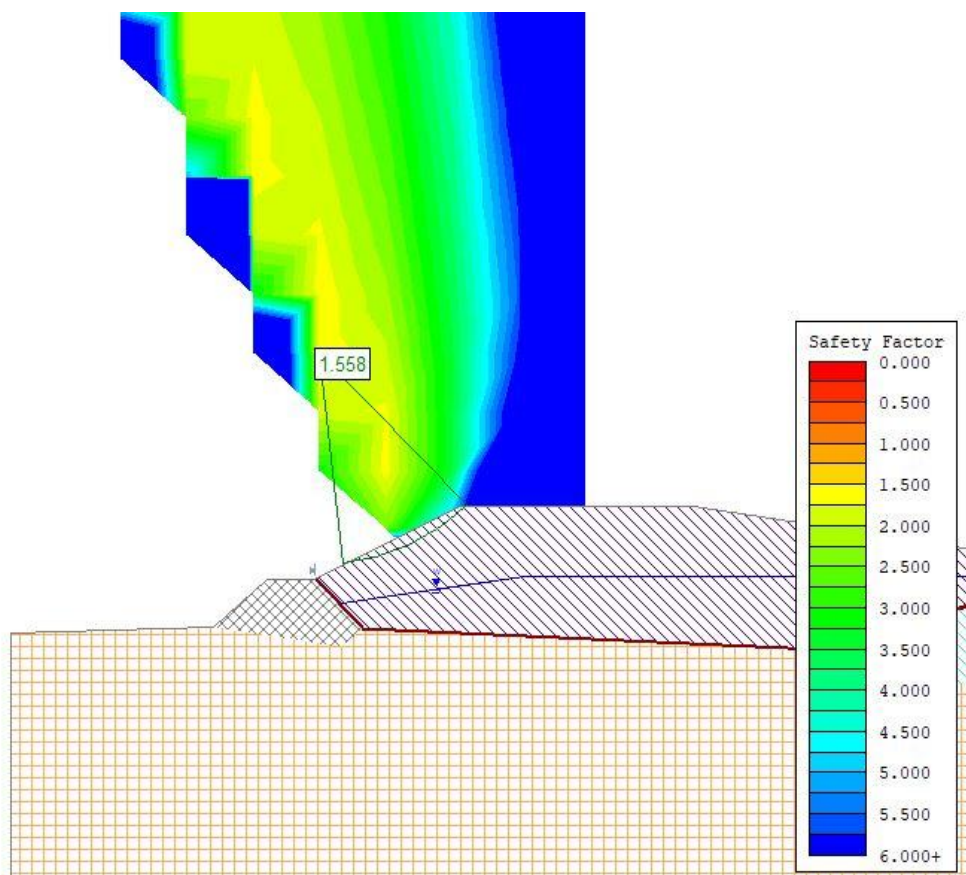


Figura 44. Situación accidental 1: rotura circular por el pie de la celda del perfil C-C'

Los FS obtenidos son superiores a 1,3 ($FS = 1,558$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 1.

6.3.2.2 Estabilidad vertedero-terreno

En este escenario, la estabilidad del conjunto vertedero-terreno se evalúa mediante la consideración de superficies circulares que atraviesan el apoyo de la celda:



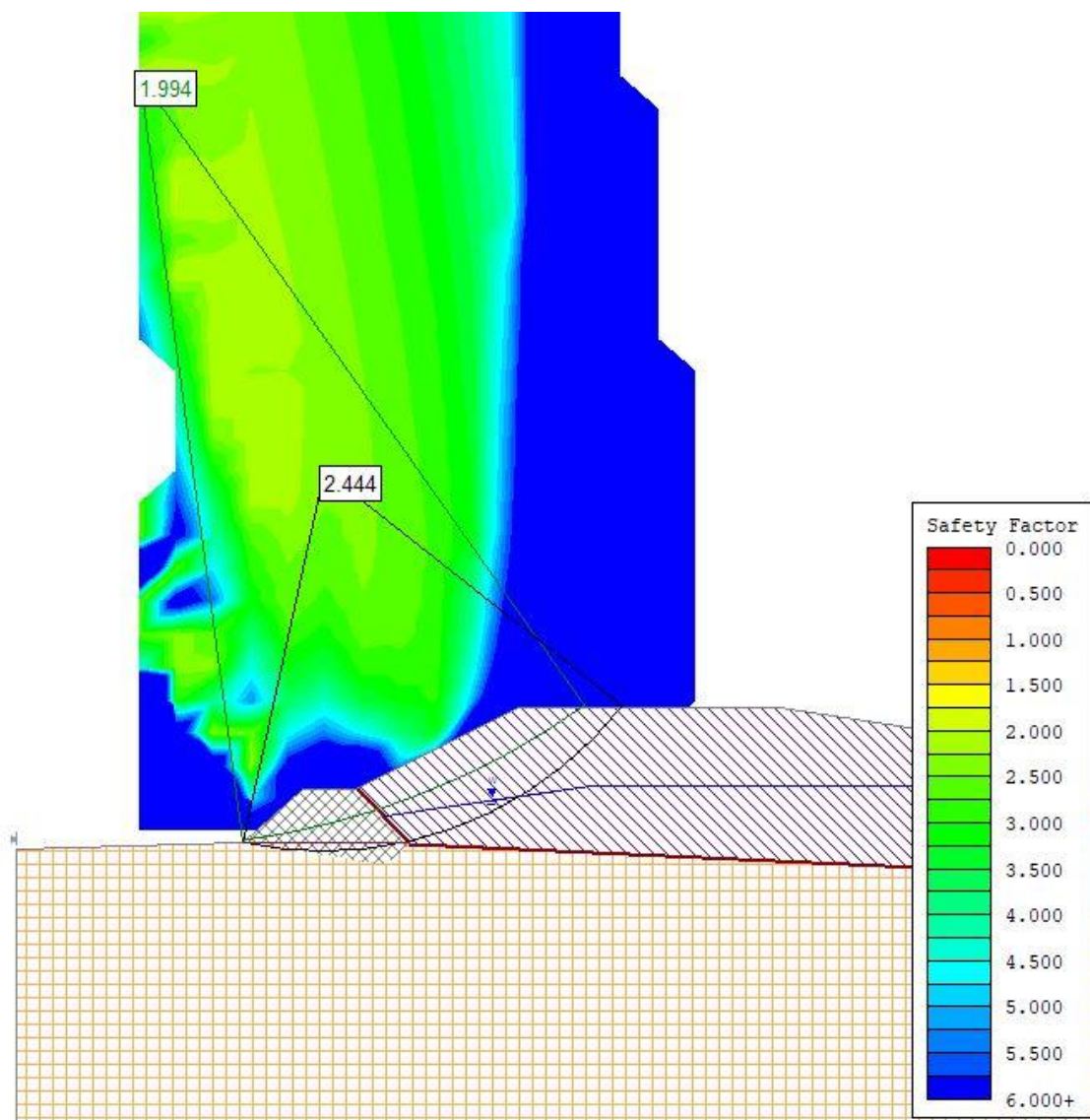


Figura 45. Situación accidental 1: rotura circular por el apoyo de la celda del perfil C-C'

Los FS obtenidos son superiores a 1,3 ($FS = 1,994$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 1.

6.3.2.3 Estabilidad de la celda en su conjunto

El resultado de este caso se muestra en la figura siguiente, donde las superficies circulares pésimas se desarrollan en el conjunto de la celda, en condición accidental 1.

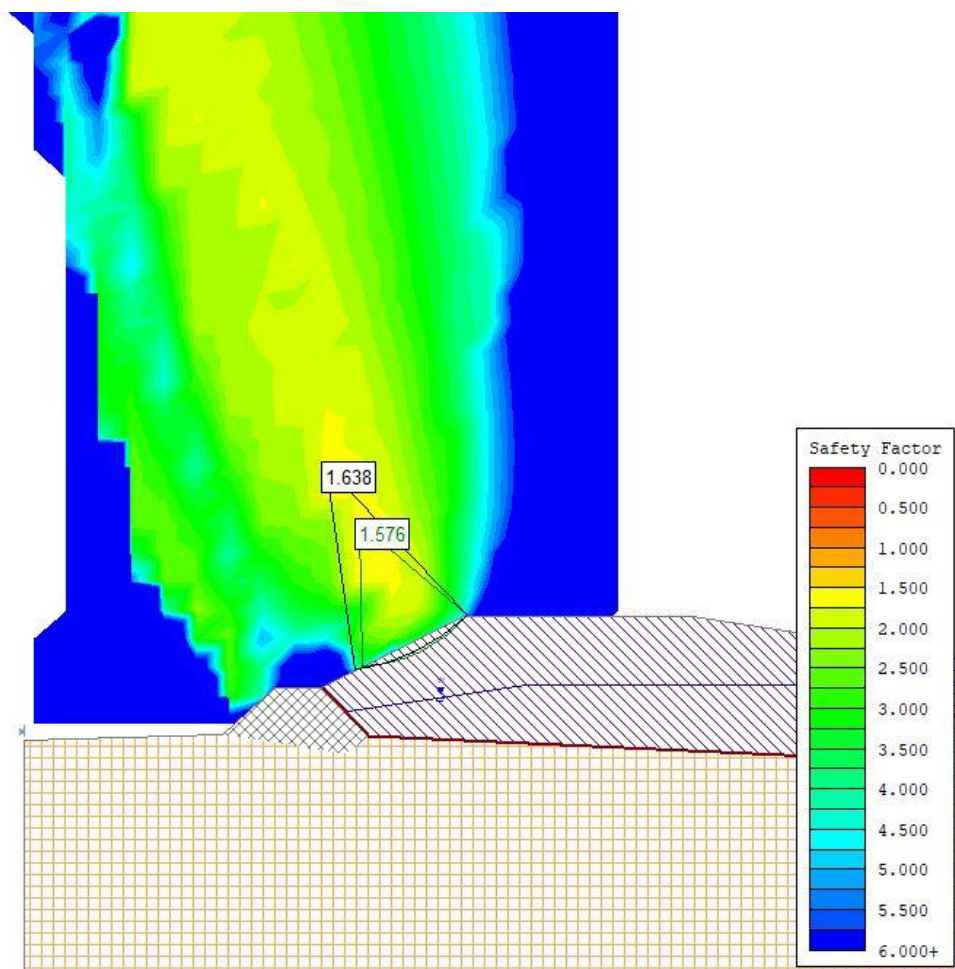


Figura 46. Situación accidental 1: rotura circular por el conjunto del vertedero del perfil C-C'

Los FS obtenidos son superiores a 1,3 ($FS = 1,576$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 1.

6.3.2.4 Rotura poligonal

Se han modelizado las superficies con rotura poligonal con menor FS que discurran por la lámina de impermeabilización, al objeto de evaluar la estabilidad del vertedero frente al deslizamiento generalizado a favor de esta superficie. Todas ellas han sido analizadas en situación accidental 1.

Las geometrías de las roturas se han establecido después de un gran número de iteraciones, de forma que discurran por el nivel geotécnico más desfavorable con la mayor longitud cinemáticamente posible. En este caso, partiendo del estudio en situación normal, además de roturas predeterminadas también se ha empleado el sistema de búsqueda por trayectoria automática, que es uno de los métodos que se puede emplear para localizar el FS global mínimo para superficies no circulares, tal y como se muestra en la figura siguiente:

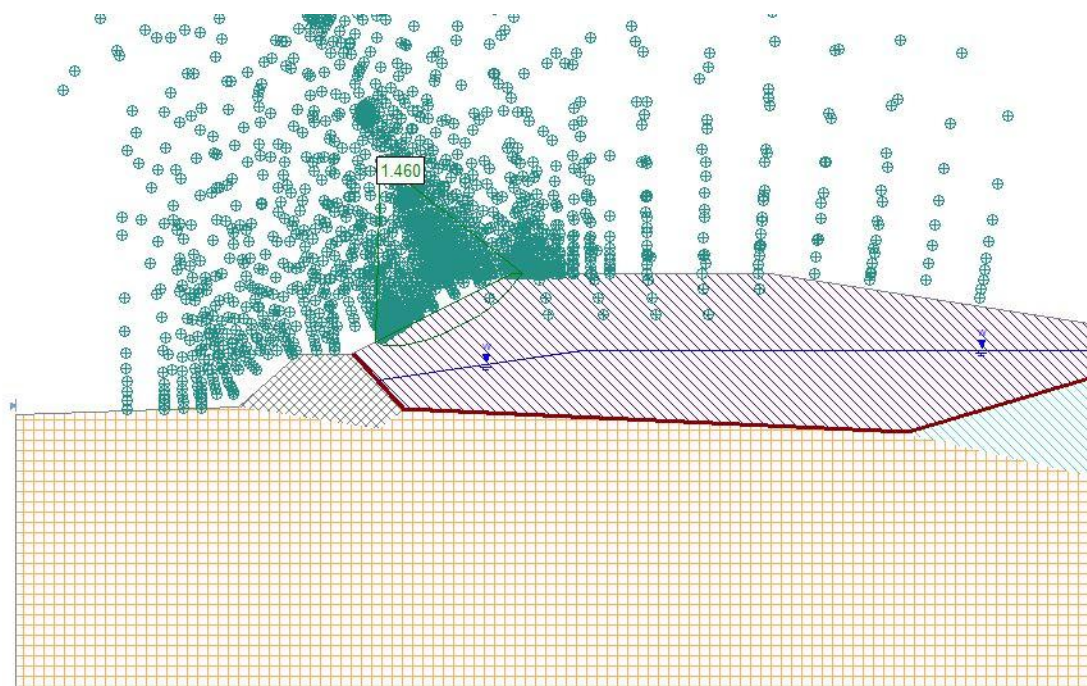


Figura 47. Situación accidental 1: rotura predeterminada poligonal del perfil C-C'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,3 ($FS = 1,460$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 1. En este caso, la lámina de impermeabilización no supone una superficie de rotura preferencial. De hecho, se obtiene el mismo FS que en condiciones normales porque el FS pésimo no está influenciado por el nivel piezométrico representado.

6.3.3 SITUACIÓN ACCIDENTAL 2: CONDICIONES SATURADAS BAJO IMPERMEABILIZACIÓN

6.3.3.1 Estabilidad interna de la masa de residuos

Se analiza un hipotético escenario, donde el ascenso del nivel piezométrico o una rotura del drenaje de fondo del vertedero genere una acumulación de agua/lixiviado en el interior del vertedero, afectando, además, a las características resistentes e hidrogeológicas de las unidades geotécnicas inferiores (impermeabilización, roca alterada y sustrato rocoso) (ver capítulo 4.4. NIVELES PIEZOMÉTRICOS CONSIDERADOS)

El comportamiento de estabilidad interna de la masa de residuo se evalúa mediante la consideración de superficies circulares representativas que discurren íntegramente por el cuerpo de la celda y afloran al pie.

Las potenciales roturas se representan junto con su factor de seguridad, tal y como refleja la figura adjunta:

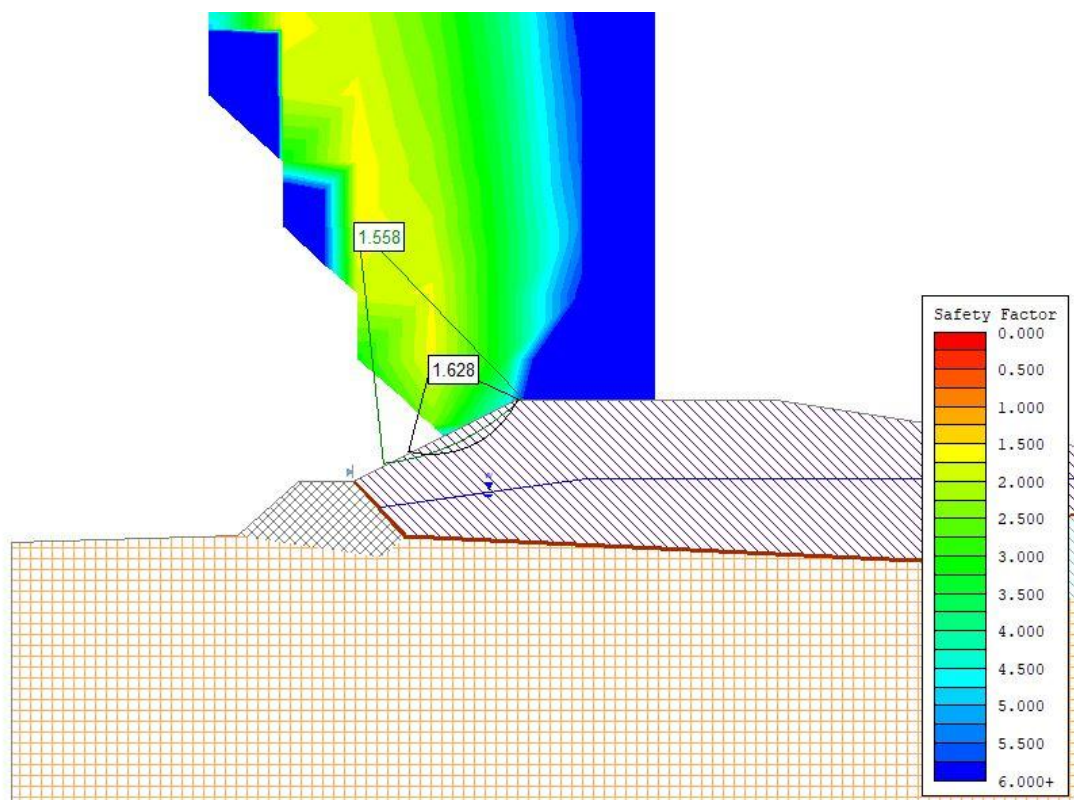


Figura 48. Situación accidental tipo 2: rotura circular al pie de la celda del perfil C-C'

Los FS obtenidos son superiores a 1,3 ($FS = 1,558$), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 2.

6.3.3.2 Estabilidad vertedero-terreno

En este escenario, la estabilidad del conjunto vertedero-terreno se evalúa mediante la consideración de superficies circulares que atraviesan el apoyo de la celda.



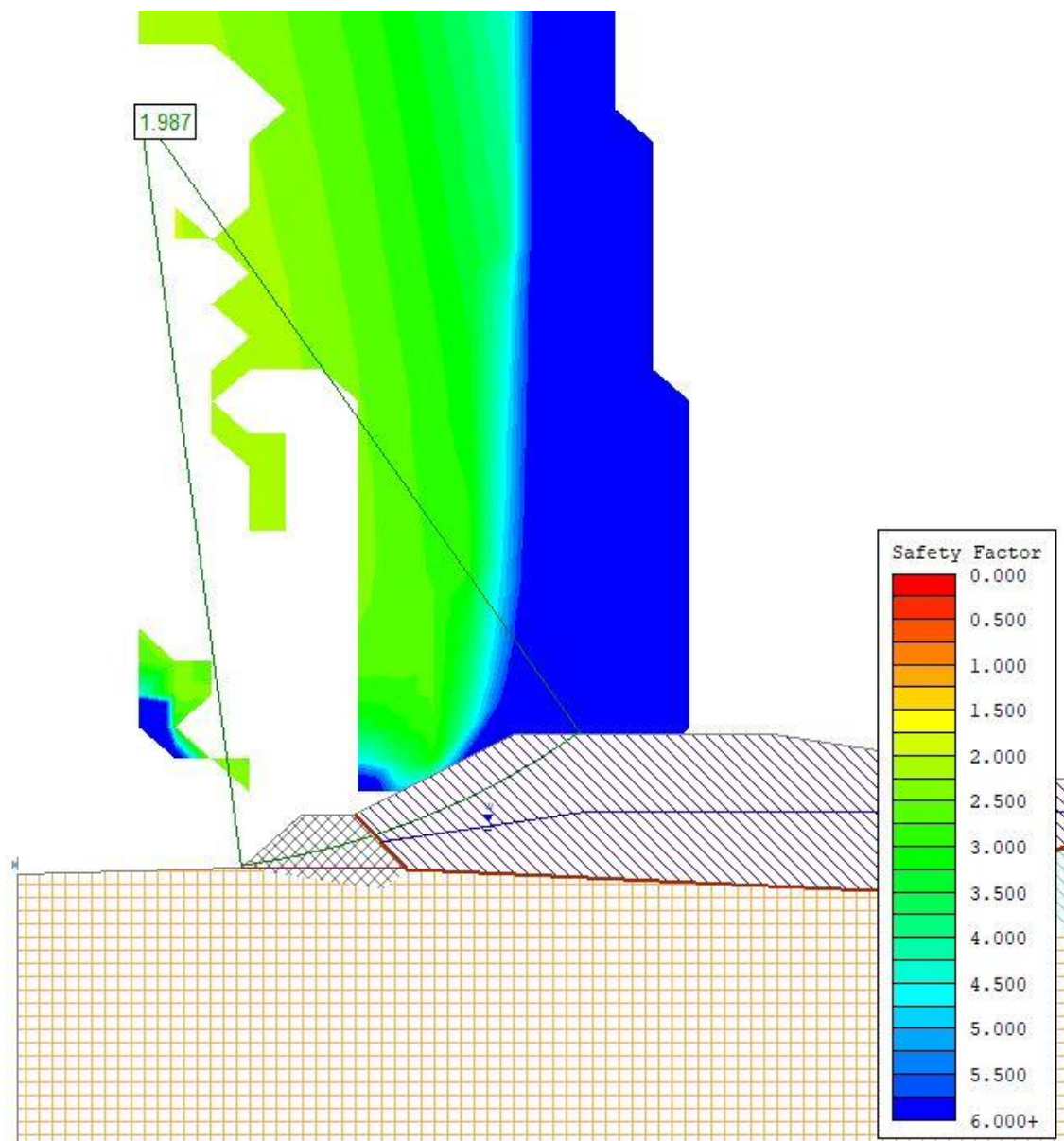


Figura 49. Situación accidental tipo 2: circular por el apoyo de la celda del perfil C-C'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,3 ($FS = 1,987$), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 2.

6.3.3.3 Estabilidad de la celda en su conjunto

El resultado de este caso se muestra en la figura siguiente, donde las superficies circulares pésimas en el conjunto de la celda, en condición accidental 2.

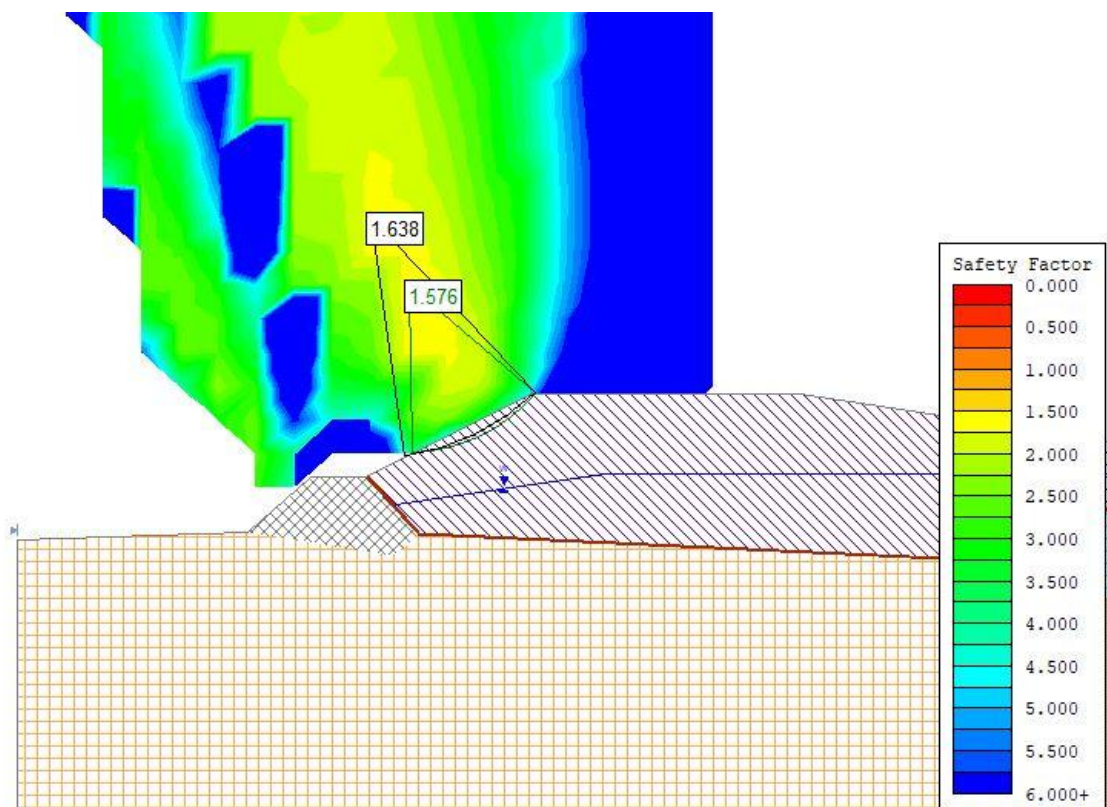


Figura 50. Situación accidental tipo 2: rotura circular por el conjunto de la celda del perfil C-C'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,3 (FS = 1.576), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2. FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 2.

6.3.3.4 Rotura poligonal

Se han modelizado las superficies con rotura poligonal con menor F.S. que discurran por la zona inferior de la impermeabilización, al objeto de evaluar la estabilidad del vertedero frente al deslizamiento generalizado a favor de esta superficie. Todas ellas han sido analizadas en situación accidental 2.

Las geometrías de las roturas se han establecido después de un gran número de iteraciones, de forma que discurran por el nivel geotécnico más desfavorable con la mayor longitud cinemáticamente posible. En este caso, partiendo del estudio en situación normal y accidental 1, además de roturas predeterminadas también se ha empleado el sistema de búsqueda por trayectoria automática, que es uno de los métodos que se puede emplear para localizar el FS global mínimo para superficies no circulares, tal y como se muestra en la figura siguiente:

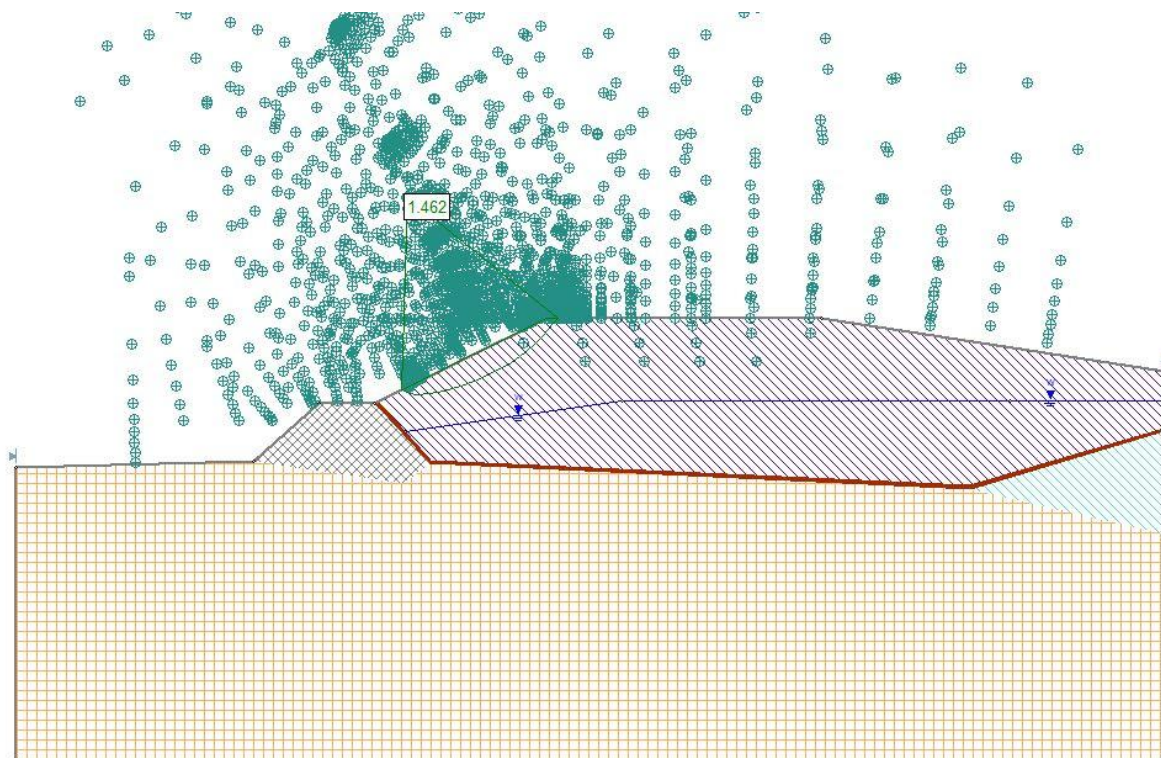


Figura 51. Situación accidental 2: rotura predeterminada poligonal del perfil C-C'

Los FS obtenidos para este caso son superiores a 1,3 ($FS = 1,462$ según método Bishop simplificado), coeficiente mínimo establecido (ver capítulo 5.3.2 FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS FRENTE A LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS) para una situación de cálculo accidental 2. En este caso, la lámina de impermeabilización no supone una superficie de rotura preferencial, ni siquiera para situación accidental 2. De hecho, se obtiene el mismo FS que en condiciones normales porque el FS pésimo no está influenciado por el nivel piezométrico representado.

6.4 RESULTADOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

6.4.1 RESUMEN DE RESULTADOS

Las siguientes tablas muestran los valores de los FS obtenidos en los cálculos de estabilidad. Se ha realizado una tabla por cada situación de cálculo, para el perfil de estudio A-A', B-B' y para el perfil C-C'.

6.4.1.1 Perfil A-A'

PERFIL A-A' Situación normal (FS mínimo = 1,50)		
Método de cálculo	Bishop	M-Price
Circular por la cabeza del dique	1,505	1,502
Circular por el cimientado del dique	1,869	1,864
Circular conjunto vertedero	1,563	1,564
Rotura predeterminada/aleatoria poligonal	1,547	1,548

Tabla 16. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: situación normal Perfil A-A'

PERFIL A-A' Situación accidental, tipo 1 (FS mínimo = 1,30)		
Método de cálculo	Bishop	M-Price
Circular por la cabeza del dique	1,577	1,576
Circular por el cimientado del dique	1,695	1,699
Circular conjunto vertedero	1,575	1,578
Rotura predeterminada/aleatoria poligonal	1,421	1,422

Tabla 17. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: caso accidental (tipo 1) Perfil A-A'

PERFIL A-A' Situación accidental, tipo 2 (FS mínimo = 1,30)		
Método de cálculo	Bishop	M-Price
Circular por la cabeza del dique	1,577	1,578
Circular por el cimientado del dique	1,628	1,622
Circular conjunto vertedero	1,558	1,554
Rotura predeterminada/aleatoria poligonal	1,418	1,418

Tabla 18. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: caso accidental (tipo 2) Perfil A-A'

6.4.1.2 Perfil B-B'



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



PERFIL B-B' Situación normal (FS mínimo = 1,50)		
Método de cálculo	Bishop	M-Price
Circular por el pie	2,175	2,161
Circular por el apoyo	2,287	2,288
Circular conjunto	2,180	2,179
Rotura predeterminada/aleatoria poligonal	2,189	2,180

Tabla 19. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: situación normal Perfil B-B'

PERFIL B-B' Situación accidental, tipo 1 (FS mínimo = 1,30)		
Método de cálculo	Bishop	M-Price
Circular por el pie	2,175	2,161
Circular por el apoyo	1,987	1,985
Circular conjunto	1,983	1,985
Rotura predeterminada/aleatoria poligonal	1,793	1,819

Tabla 20. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: caso accidental (tipo 1) Perfil B-B'

PERFIL B-B' Situación accidental, tipo 2 (FS mínimo = 1,30)		
Método de cálculo	Bishop	M-Price
Circular por el pie	1,982	1,970
Circular por el apoyo	1,981	1,980
Circular conjunto	1,863	1,860
Rotura predeterminada/aleatoria poligonal	1,762	1,776

Tabla 21. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: caso accidental (tipo 2) Perfil B-B'

6.4.1.3 Perfil C-C'



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



PERFIL C-C' Situación normal (FS mínimo = 1,50)		
Método de cálculo	Bishop	M-Price
Circular por el pie	1,508	1,505
Circular por el apoyo	1,994	2,025
Circular conjunto	1,526	1,522
Rotura predeterminada/aleatoria poligonal	1,530	1,534

Tabla 22. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: situación normal Perfil C-C'

PERFIL C-C' Situación accidental, tipo 1 (FS mínimo = 1,30)		
Método de cálculo	Bishop	M-Price
Circular por el pie	1,558	1,556
Circular por el apoyo	1,994	2,025
Circular conjunto	1,576	1,573
Rotura predeterminada/aleatoria poligonal	1,460	1,456

Tabla 23. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: caso accidental (tipo 1) Perfil C-C'

PERFIL C-C' Situación accidental, tipo 2 (FS mínimo = 1,30)		
Método de cálculo	Bishop	M-Price
Circular por el pie	1,558	1,556
Circular por el apoyo	1,987	2,030
Circular conjunto	1,576	1,572
Rotura predeterminada/aleatoria poligonal	1,462	1,456

Tabla 24. Factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad: caso accidental (tipo 2) Perfil C-C'



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWBCBRR]



6.5 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD CONSIDERADOS

Finalmente, en la siguiente tabla se muestran los FS considerados en base a las consideraciones expuestas en los capítulos anteriores:

Tipo de rotura	Factores de seguridad (FS) - PERFIL A-A'		
	Situación normal	Situación accidental 1	Situación accidental 2
Circular por la cabeza del dique	1,50	1,57	1,57
Circular por el cimientado del dique	1,86	1,69	1,62
Circular conjunto vertedero	1,56	1,57	1,55
Rotura predeterminada/aleatoria poligonal	1,54	1,42	1,41

Tabla 25. Valores de los factores de seguridad (FS) obtenidos para perfil A-A'

Tipo de rotura	Factores de seguridad (FS) - PERFIL B-B'		
	Situación normal	Situación accidental 1	Situación accidental 2
Circular por el pie	2,16	2,16	1,97
Circular por el apoyo	2,28	1,98	1,98
Circular conjunto	2,17	1,98	1,86
Rotura predeterminada/aleatoria poligonal	2,19	1,79	1,76

Tabla 26. Valores de los factores de seguridad (FS) obtenidos para perfil B-B'

Tipo de rotura	Factores de seguridad (FS) - PERFIL C-C'		
	Situación normal	Situación accidental 1	Situación accidental 2
Circular por el pie	1,50	1,55	1,55
Circular por el apoyo	1,99	1,99	1,98
Circular conjunto	1,52	1,57	1,57
Rotura predeterminada/aleatoria poligonal	1,53	1,46	1,45

Tabla 27. Valores de los factores de seguridad (FS) obtenidos para perfil C-C'

6.6 ANALISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad realizado con el **método de Bishop simplificado** muestra la influencia de los **parámetros resistentes** sobre el **factor de seguridad (FS)** frente al deslizamiento. En el eje horizontal se representa la **variación de los parámetros** en porcentaje respecto a su valor medio y en el eje vertical el **factor de seguridad obtenido**:



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
 Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
 Habilitación Profesional
 2/10 2025

VISADO : 03202500128
 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

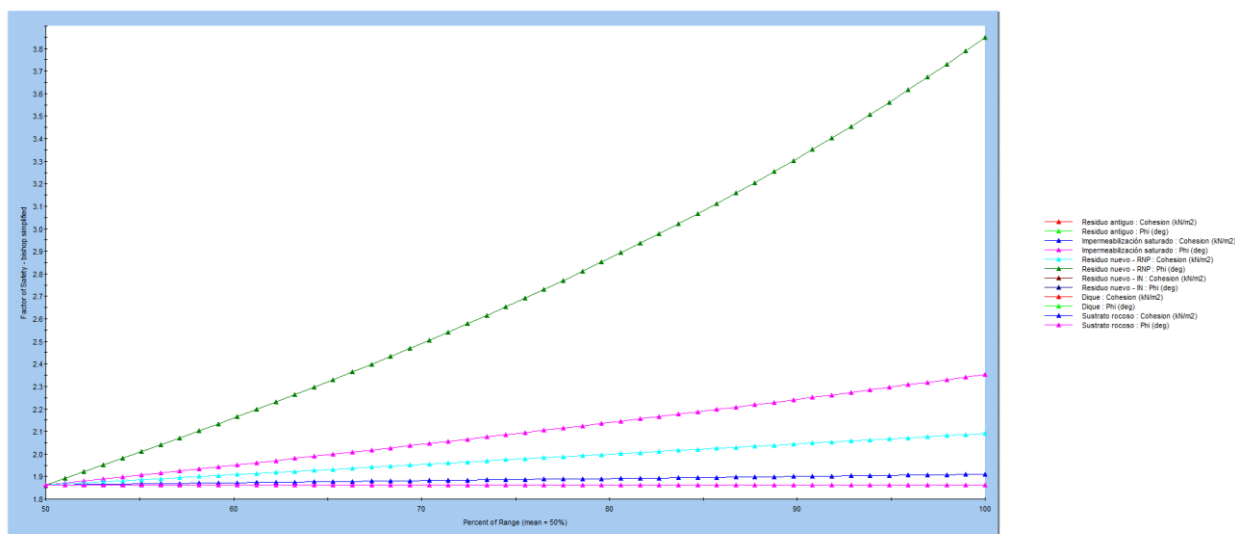



Figura 52. Análisis de sensibilidad de parámetros geotécnicos para situación normal: rotura circular por el conjunto del vertedero

Los resultados indican que el parámetro con **mayor sensibilidad** es el **ángulo de fricción de los residuos nuevos no plastificados (RNP)**, cuyo incremento produce un aumento significativo del factor de seguridad desde valores próximos a **1,9** hasta superiores a **3,8**, lo que demuestra que este parámetro es **determinante en la estabilidad global**.

El **ángulo de fricción de los residuos nuevos inertizados (IN)** también presenta **cierta influencia**, aunque más moderada, alcanzando valores en torno a **2,2**. El **sustrato rocoso** aporta una **contribución intermedia**, con un incremento limitado del factor de seguridad.

En cambio, el resto de parámetros analizados, tanto las **cohesiones** como los **ángulos de fricción de los residuos antiguos**, la **impermeabilización** y el **dique**, apenas generan variaciones apreciables, manteniéndose el factor de seguridad prácticamente constante en el rango de **1,8 a 1,9**.

En conjunto, el análisis pone de manifiesto que la **estabilidad del talud** depende principalmente del **ángulo de fricción de los residuos nuevos** y, en menor medida, del **sustrato rocoso**, mientras que la **cohesión** y los demás parámetros juegan un papel poco relevante. El factor de seguridad se mantiene en todo momento por encima de **1,3**, lo que sugiere una **condición de estabilidad adecuada** dentro de los márgenes habitualmente exigidos.

6.7 CONCLUSIONES

6.7.1 CONCLUSIONES POR PERFILES

En el **perfil A-A'** la **rotura principal se localiza en el primer talud del residuo nuevo**, observándose que el **dique de contención resiste adecuadamente** la presión inducida por la ampliación. En **condiciones de saturación**, la **interfaz crítica se sitúa en la impermeabilización de fondo**, que actúa como plano de deslizamiento preferente. Los factores de seguridad obtenidos cumplen en todo momento los valores mínimos establecidos en la Autorización Ambiental Integrada ($FS \geq 1,50$ en situación normal y $FS \geq 1,30$ en accidental).

En el **perfil B-B'** el **vertedero antiguo** actúa como **refuerzo pasivo**, ofreciendo un **efecto de sujeción adicional** frente a los empujes derivados de la nueva celda. La rotura en el residuo se produce en el **primer talud de la ampliación**, mientras que en los demás mecanismos de fallo la **zona crítica se concentra en la interfaz con el vertedero antiguo**, debido a la transmisión de esfuerzos. Se alcanza un **nivel de seguridad superior al exigido** en todos los escenarios analizados.

En el **perfil C-C'** la **rotura principal se desarrolla en la masa de residuo**, aunque al analizar de forma independiente la **estabilidad del dique** (rotura circular vertedero-terreno) los factores de seguridad se mantienen **por encima de los mínimos reglamentarios**. El comportamiento es estable tanto en condiciones drenadas como en escenarios de saturación parcial o total, con factores de seguridad próximos o superiores a 1,5.

6.7.2 CONCLUSIONES GENERALES

De forma global, los resultados del análisis confirman que la **estabilidad del vertedero se encuentra garantizada** frente a los escenarios considerados, cumpliendo en todos los casos los **factores de seguridad mínimos exigidos por la AAI** ($FS \geq 1,50$ en situación normal y $FS \geq 1,30$ en situación accidental). El análisis de sensibilidad demuestra que el **parámetro más influyente es el ángulo de fricción de los residuos nuevos no plastificados (RNP)**, seguido del **ángulo de fricción de los residuos inertizados (IN)** y, en menor medida, del **sustrato rocoso**. La **cohesión de los materiales** y las propiedades de la **impermeabilización** apenas condicionan la estabilidad. En consecuencia, puede concluirse que la **seguridad global del vertedero** depende fundamentalmente del **comportamiento mecánico de los residuos nuevos**, resultando en todo momento **factores de seguridad superiores a los requeridos por normativa** tanto en situación normal como accidental.

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional	2/10 2025
	VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 

7 PLAXIS 2D - ANÁLISIS NUMÉRICO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

7.1 GENERACIÓN DE LA MALLA DE ELEMENTOS FINITOS

La generación de la malla de elementos finitos requiere de un factor o parámetro global de mallado (global meshing parameter). Dicho factor se denomina dimensión de elementos objetivo (target element dimension) y se representa como I_e . Este parámetro se calcula a partir de las dimensiones máximas y mínimas del modelo según los ejes horizontales (X e Y) y verticales (Z) y el factor de tamaño de elemento relativo (r_e) que depende de la distribución de elemento elegida. La expresión que permite calcular el *target element dimension* es:

$$I_e = r_e * 0,05 * \sqrt{(X_{max} - X_{min})^2 + (Y_{max} - Y_{min})^2 + (Z_{max} - Z_{min})^2}$$

El factor de tamaño relativo puede estar comprendido entre 2 (muy poco denso) y 0,5 (muy denso). Debido al poco espesor de las posibles interfaces críticas se ha optado por **un tamaño muy fino de malla**.

Así pues, puede concluirse que el parámetro I_e constituye para Plaxis un tamaño referencia de elementos finitos a partir del cual constituir la malla para el modelo en cuestión.

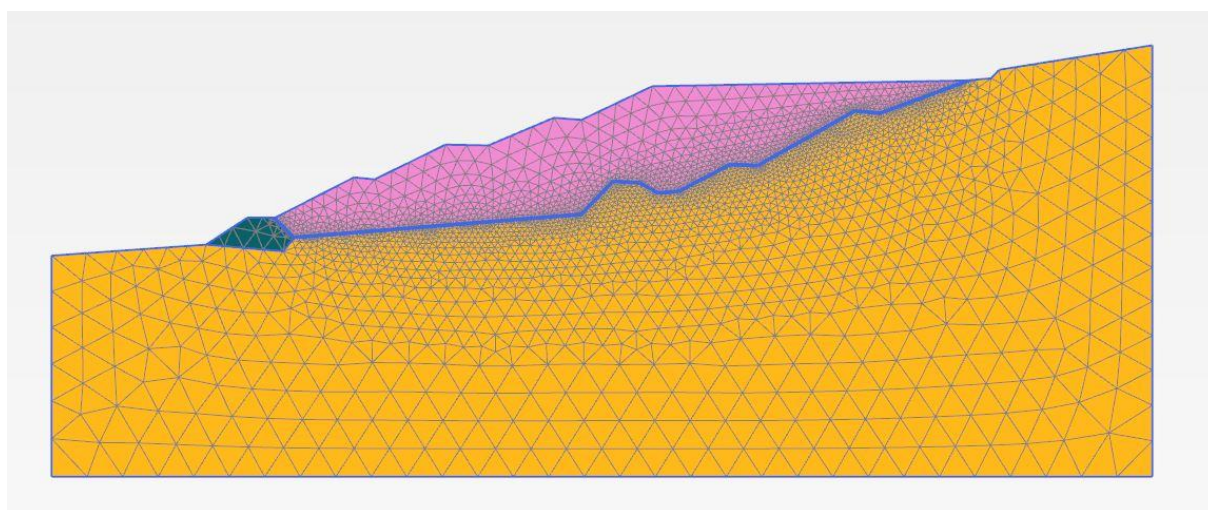


Figura 53. Malla de elementos finitos generada – Perfil A-A'

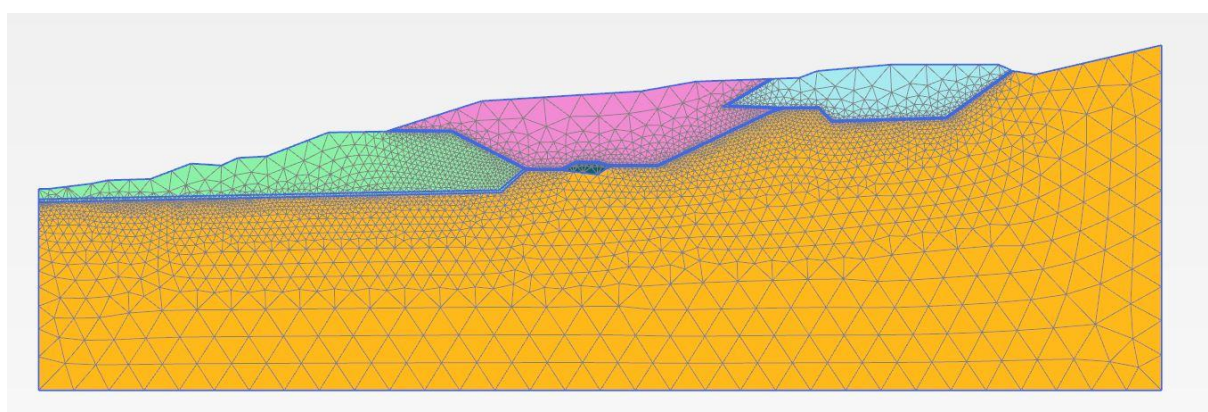


Figura 54. Malla de elementos finitos generada – Perfil B-B´

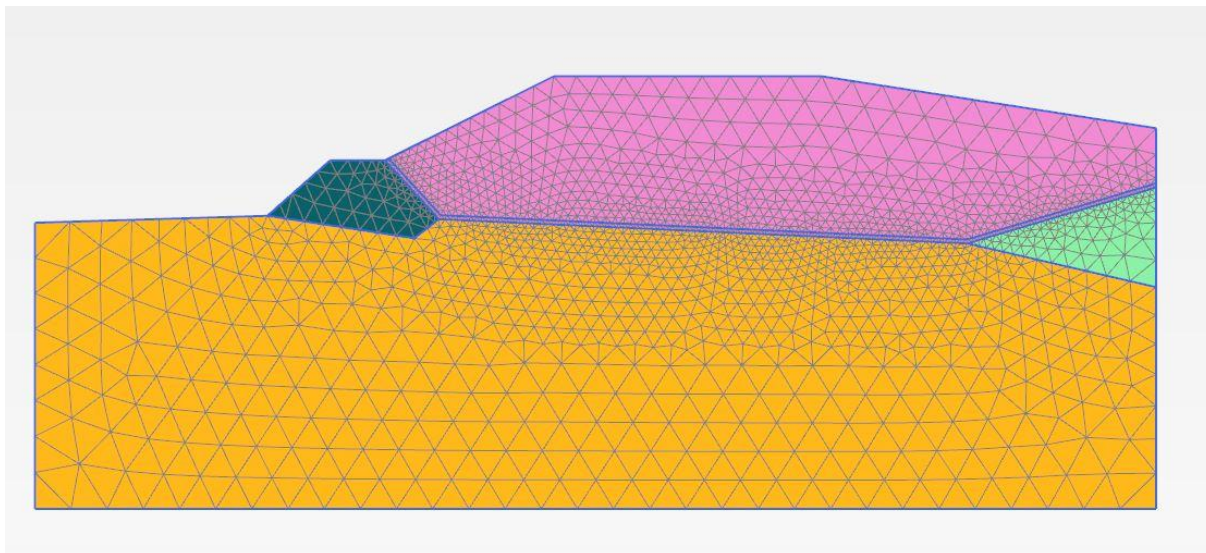


Figura 55. Malla de elementos finitos generada – Perfil C-C´

7.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SEGÚN PERFIL A-A´

7.2.1 SUPERFICIE DE ROTURA Y FS OBTENIDO

En el **perfil A-A´**, el análisis mediante el **modelo de elementos finitos** muestra que en la **situación normal** se obtiene un **factor de seguridad (FS) de 1,51**, con un mecanismo de rotura **circular que atraviesa la masa de residuo justo por encima del dique**. En la **situación accidental tipo 1**, correspondiente a condiciones de drenaje deficiente, el FS alcanzado es **1,442**, manteniéndose igualmente un mecanismo de rotura **circular por el cuerpo del residuo** en la zona inmediata superior al dique.

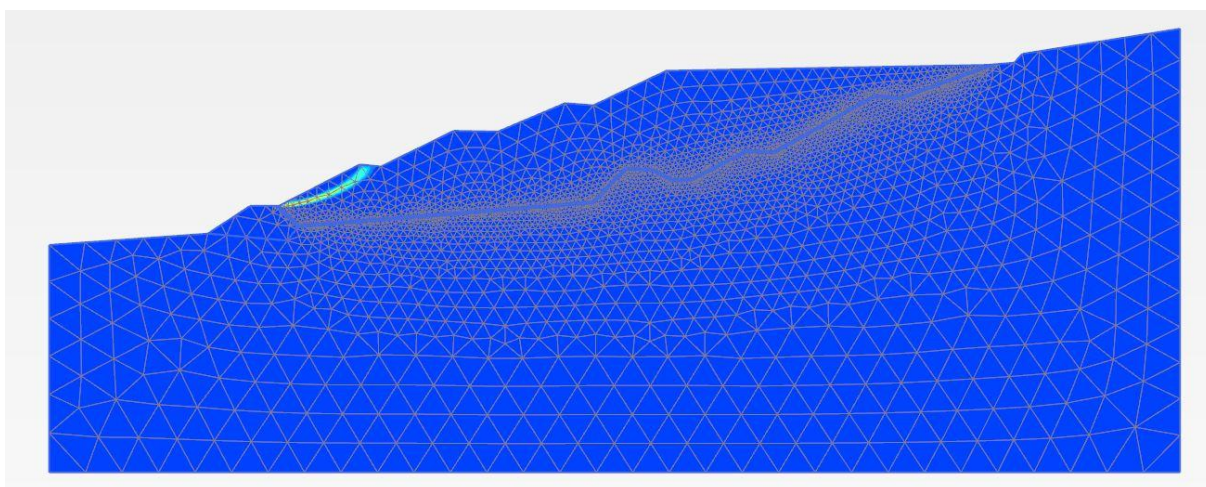


Figura 56. Perfil A-A´ - Situación normal

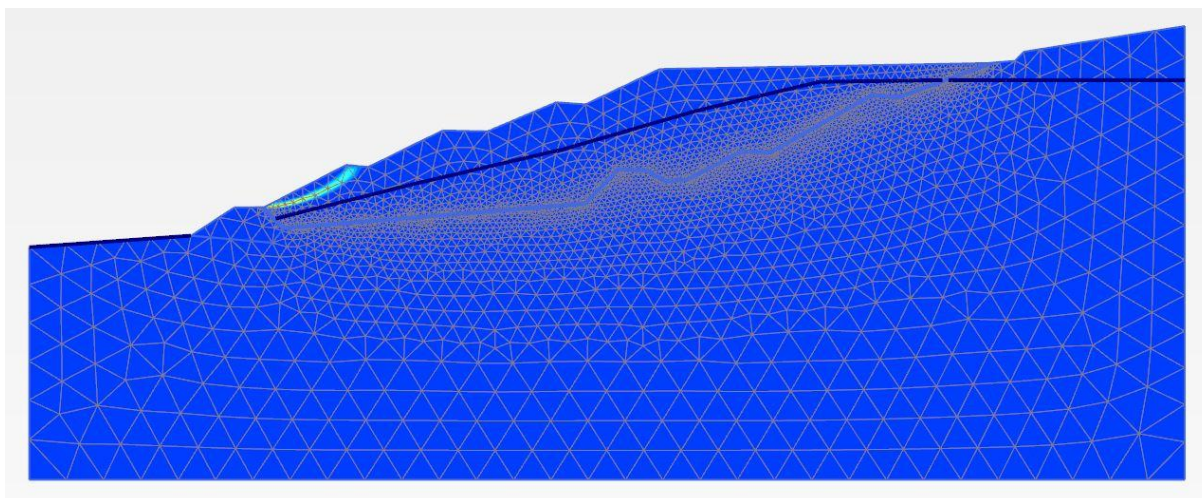


Figura 57. Perfil A-A' - Situación accidental 1

Por el contrario, en la **situación accidental tipo 2**, cuando se considera que la **barrera geosintética se encuentra saturada** y que tanto su **cohesión** como su **ángulo de rozamiento** disminuyen, el plano de deslizamiento **se traslada a la interfaz de la impermeabilización**, alcanzándose un **factor de seguridad de 1,382**. Este resultado pone de manifiesto que la **interfaz geosintética constituye el plano crítico** en condiciones de saturación, mientras que en estado drenado la rotura se controla fundamentalmente por la resistencia del residuo.

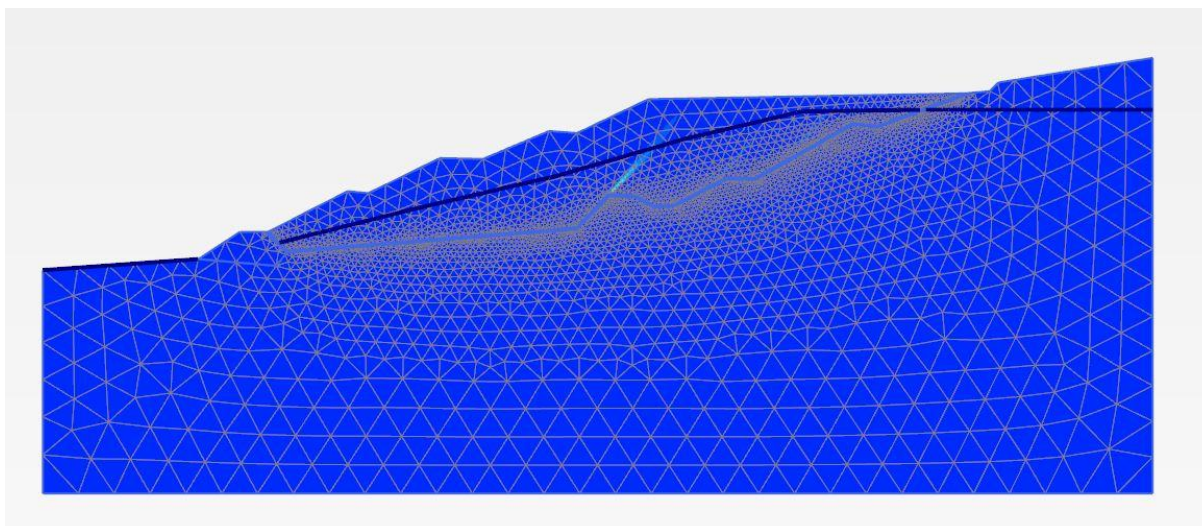


Figura 58. Perfil A-A' - Situación accidental 2

7.2.2 VOLUMEN POTENCIALMENTE MOVILIZABLE

Según se indica en las siguientes figuras, los extremos inferior y superior del círculo de rotura obtenidos geoméricamente mediante modelo, se trasladan al plano de planta del vertedero, sobre la sección de cálculo AA'. Una vez representados dichos extremos, se asume que la geometría de la rotura tanto en cabecera como en base será en forma de "cuña", pasando el extremo superior e inferior de dicha cuña por la sección de cálculo, la cual resulta ser la más desfavorable.

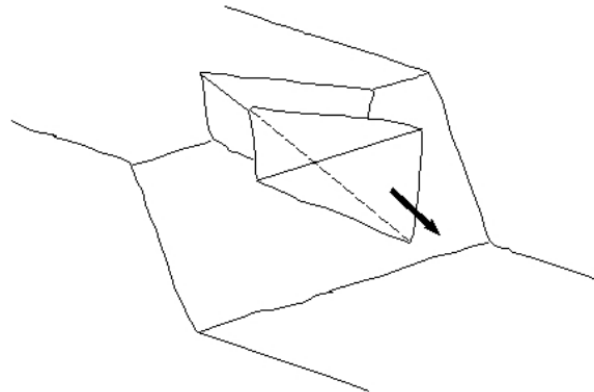


Figura 59. Ejemplo de rotura tipo "cuña"

La estimación de la masa de residuo movilizable se obtiene a partir de la extrapolación del perfil bidimensional (2D) a la configuración tridimensional (3D) de la celda **en situación accidental**. De este modo, se ha determinado que el **volumen total potencialmente movilizable** alcanza un valor de **60 m³ por metro lineal**.

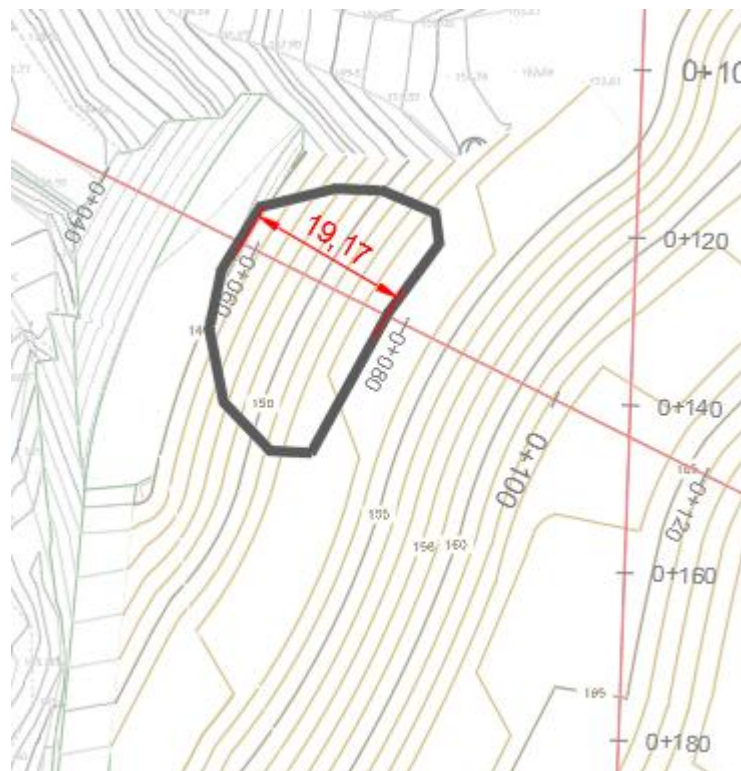


Figura 60. Plano de planta topográfica. Emplazamiento Vertedero de Bistibieta. Sección A-A' Estimación en planta del círculo de rotura

Así pues, del **modelo PLAXIS** se había estimado inicialmente un volumen total de residuos potencialmente movilizables por metro lineal de 60 m³/ml.

Por otro lado, tomando en consideración que el área de la zona potencialmente inestable es de 555 m² y que la longitud del círculo de rotura es de aproximadamente 31 m, se obtiene un ancho medio de la superficie de rotura en planta de 19 m.

En definitiva, el **volumen total de la masa potencialmente inestable** resulta del producto entre el **volumen movilizable por metro lineal** y el **ancho medio calculado**, es decir **33.300 m³**.

7.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SEGÚN PERFIL B-B'

7.3.1 SUPERFICIE DE ROTURA Y FS OBTENIDO

En el **perfil B-B'**, el análisis con el **modelo de elementos finitos** muestra que en la **situación normal** el **plano de deslizamiento principal** se inicia en la **impermeabilización que actúa como separación de vasos entre la celda de residuos no plastificados (RNP) y la de residuos inertizados (IN)**. Posteriormente, el deslizamiento progresa hacia el **fondo de la celda**, donde el movimiento continúa por el **contacto entre la impermeabilización y el residuo**, hasta alcanzar el **vertedero antiguo**, punto en el que el desplazamiento se detiene. El **factor de seguridad (FS)** en este escenario es de **2,023**, valor claramente superior al **mínimo exigido de 1,50** en condiciones normales.

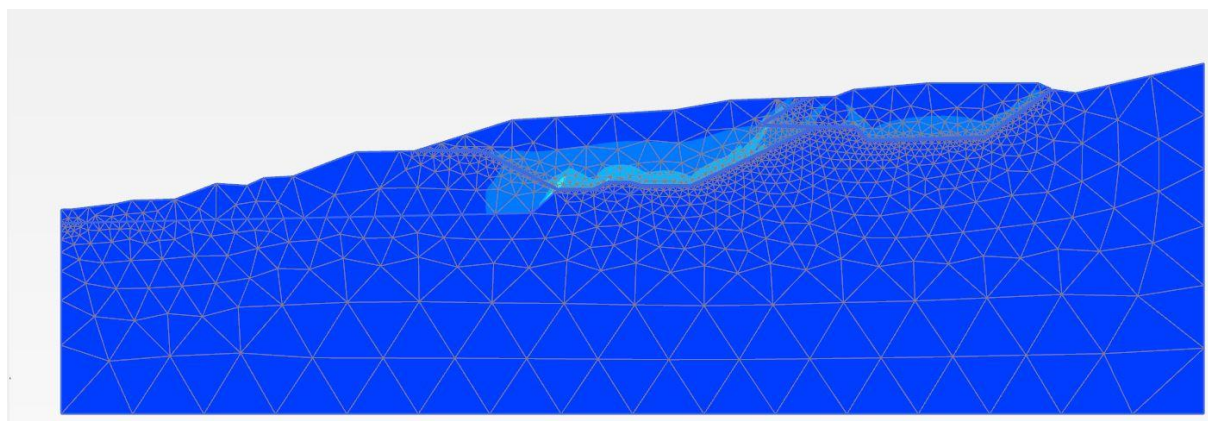


Figura 61. Perfil B-B' - Situación normal

En las **situaciones accidentales tipo 1 y tipo 2**, el **plano de deslizamiento** presenta un comportamiento muy similar en ambos casos: **parte de la cabecera de la nueva celda y atraviesa el vertedero actual**, empleando la **impermeabilización existente como plano de deslizamiento preferente**. El FS alcanzado en la **situación accidental tipo 1** es de **1,592**, mientras que en la **situación accidental tipo 2** desciende hasta **1,512**, manteniéndose en ambos supuestos **por encima del límite de 1,30** requerido por la AAI.

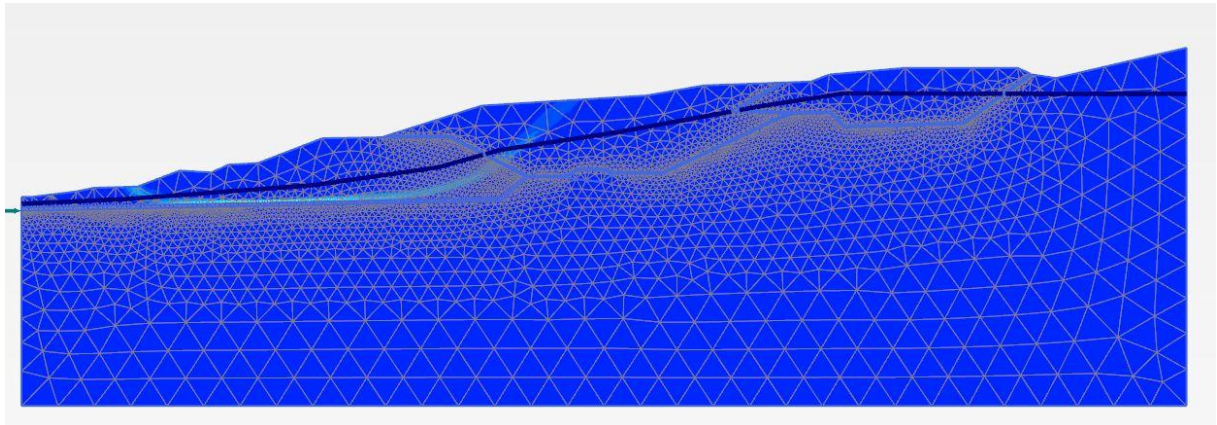


Figura 62. Perfil B-B' - Situación accidental 1 y 2

7.3.2 VOLUMEN POTENCIALMENTE MOVILIZABLE

La estimación de la masa de residuo movilizable se obtiene a partir de la extrapolación del perfil bidimensional (2D) a la configuración tridimensional (3D) de la celda **en situación accidental**. De este modo, se ha determinado que el **volumen total potencialmente movilizable** alcanza un valor de **1.276 m³ por metro lineal**.

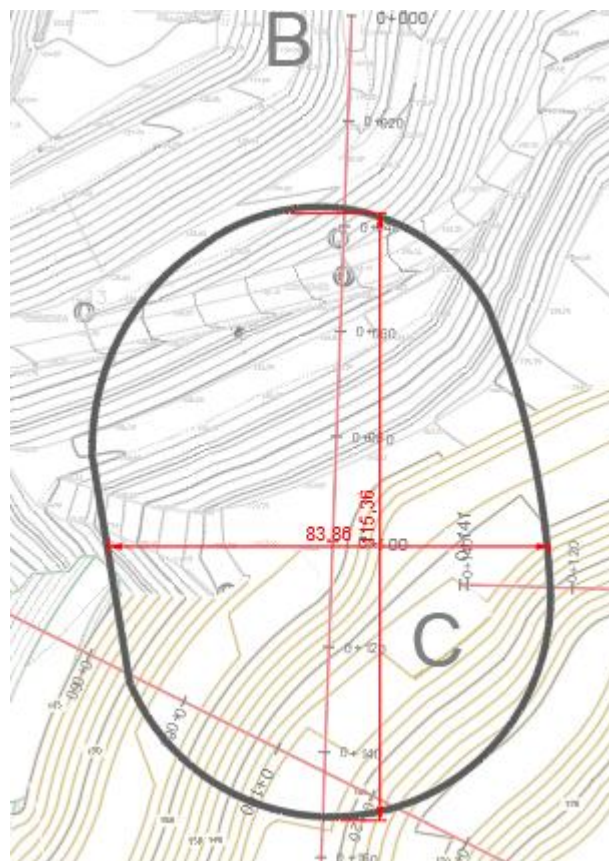


Figura 63. Plano de planta topográfica. Emplazamiento Vertedero de Bistibieta. Sección B-B' Estimación en planta del círculo de rotura

Así pues, del **modelo PLAXIS** se había estimado inicialmente un volumen total de residuos potencialmente movilizables por metro lineal de 1.276 m³/m.

Por otro lado, tomando en consideración que el área de la zona potencialmente inestable es de 8.000 m² y que la longitud del círculo de rotura es de aproximadamente 115 m, se obtiene un ancho medio de la superficie de rotura en planta de 83 m.

En definitiva, el **volumen total de la masa inestable** resulta del producto entre el **volumen potencialmente movilizable por metro lineal** y el **ancho medio calculado**, es decir **105.908 m³**.

7.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SEGÚN PERFIL C-C'

7.4.1 SUPERFICIE DE ROTURA Y FS OBTENIDO

el **perfil C-C'**, el análisis mediante el **modelo de elementos finitos** indica que en todas las situaciones estudiadas la **rotura se desarrolla a través de la masa de residuo**, sin afectar directamente a las interfaces de impermeabilización. El **factor de seguridad (FS)** obtenido en la **situación normal** es de **1,501**, mientras que en las **situaciones accidentales tipo 1 y tipo 2** el valor desciende hasta **1,308**, siendo en ambos casos idéntico al producirse la **rotura por encima del nivel freático (NF)**.

La razón por la que los valores de FS en las **situaciones accidentales** no coinciden con los de la situación normal se debe a la **aparición de presiones de poro adicionales** en el interior del residuo cuando se simulan condiciones de saturación parcial. Estas presiones reducen la resistencia efectiva del material y, en consecuencia, disminuyen el factor de seguridad, incluso cuando el mecanismo de rotura se mantiene en la misma zona.

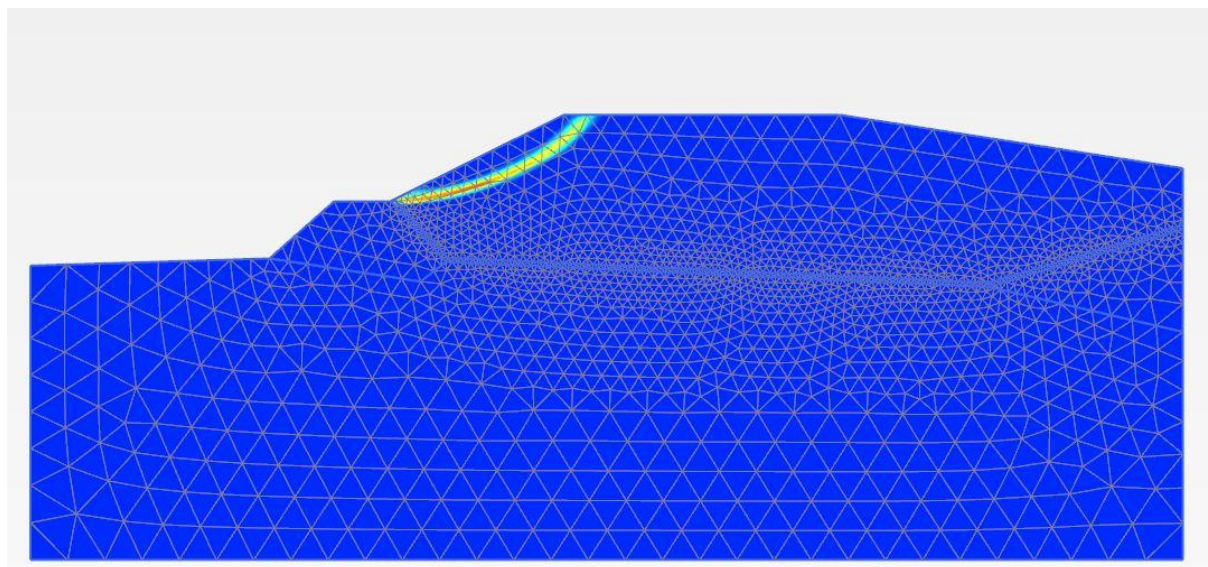


Figura 64. Perfil C-C' - Situación normal, accidental tipo 1 y tipo 2

7.4.2 VOLUMEN POTENCIALMENTE MOVILIZABLE

La estimación de la masa de residuo movilizable se obtiene a partir de la extrapolación del perfil bidimensional (2D) a la configuración tridimensional (3D) de la celda. De este modo, se ha

determinado que el **volumen total potencialmente movilizable** alcanza un valor de **96 m³ por metro lineal (96 m³/ml)**.



Figura 65. Plano de planta topográfica. Emplazamiento Vertedero de Bistibieta. Sección C-C'. Estimación en planta del círculo de rotura

Así pues, del **modelo PLAXIS** se había estimado inicialmente un volumen total de residuos potencialmente movilizables por metro lineal de **96 m³/ml**.

Por otro lado, tomando en consideración que el área de la zona potencialmente inestable es de **907 m²** y que la longitud del círculo de rotura es de aproximadamente **30 m**, se obtiene un ancho medio de la superficie de rotura en planta de **33 m**.

En definitiva, el **volumen total de la masa inestable** resulta del producto entre el **volumen potencialmente movilizable por metro lineal** y el **ancho medio calculado**, es decir **3.168 m³**.

7.5 CONCLUSIONES

En el **perfil A-A'**, el análisis con el modelo de elementos finitos muestra que la **rotura se produce por la masa de residuo justo por encima del dique en la situación normal (FS = 1,51)** y en la **situación accidental tipo 1 (FS = 1,442)**. Sin embargo, en la **situación accidental tipo 2**, cuando la **barrera geosintética se encuentra saturada** y disminuyen sus parámetros resistentes, el **plano de deslizamiento se traslada a la interfaz de la impermeabilización**, con un **FS de 1,382**. Este resultado confirma que la **interfaz geosintética constituye el plano crítico en condiciones de saturación**, mientras que en estado drenado la rotura está controlada por la resistencia del residuo. El **volumen total de la masa inestable** se ha estimado en **33.300 m³**.

En el **perfil B-B'**, en la **situación normal** el **plano de deslizamiento** se inicia en la **impermeabilización que separa la celda de RNP y la de IN**, progresando hacia el fondo de la celda hasta alcanzar el vertedero antiguo, donde el movimiento se detiene. El **FS obtenido es de 2,023**, superior al mínimo exigido. En las **situaciones accidentales tipo 1 y 2**, el plano de rotura parte de la **cabecera de la**



nueva celda y atraviesa el vertedero actual empleando la **impermeabilización como plano de deslizamiento**, con factores de seguridad de **1,592 y 1,512**, respectivamente, siempre por encima del valor de 1,30 establecido en la AAI. El **volumen total de masa potencialmente movilizable** para este perfil se ha estimado en **105.908 m³**, lo que representa el escenario de mayor entidad en términos de material inestable.

En el **perfil C-C'**, en todas las situaciones analizadas la **rotura se produce a través de la masa de residuo**, sin afectar directamente a las interfaces de impermeabilización. El **FS en situación normal es de 1,501**, mientras que en las **situaciones accidentales tipo 1 y 2** desciende hasta **1,308**, siendo idénticos al generarse la rotura por encima del **nivel freático (NF)**. La diferencia respecto a la situación normal se explica por la **aparición de presiones de poro adicionales**, que reducen la resistencia efectiva del residuo. El **volumen total de la masa potencialmente movilizable** se ha calculado en **3.168 m³**.

En términos generales, los resultados obtenidos muestran que los **factores de seguridad calculados en los tres perfiles se mantienen siempre por encima de los mínimos establecidos en la AAI** ($FS \geq 1,50$ en situación normal y $FS \geq 1,30$ en situación accidental), garantizando la estabilidad del vertedero en todos los escenarios contemplados. Asimismo, los volúmenes potencialmente movilizables varían de forma notable entre perfiles, siendo el **perfil B-B'** el **más desfavorable (105.908 m³)** frente a valores sensiblemente menores en los perfiles **A-A' (33.300 m³)** y **C-C' (3.168 m³)**.

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
	Habilitación Profesional
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWBCBRR]	

8 CONCLUSIONES

8.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del estudio es definir las características geológico-geotécnicas e hidrogeológicas de los materiales que participan del proyecto, analizar la estabilidad y determinar el factor de seguridad de la nueva celda proyectada.

8.2 EN RELACIÓN CON LAS CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS DEL EMPLAZAMIENTO

Son de aplicación tanto el Estudio Hidrogeológico original (CINSA, 1997) para el proyecto de la Fase I, como el estudio Geológico – Geotécnico para las fases II y III (Geotecnia Larrea, 2013). En estos estudios se evalúa la permeabilidad del sustrato rocoso obteniéndose valores inferiores a $K < 1 \times 10^{-7}$ m/s.

Complementariamente, se ha caracterizado en laboratorio la permeabilidad de los materiales de apoyo de la nueva celda (roca meteorizada gr. V) obteniéndose valores permeabilidades (K) inferiores a 3×10^{-10} m/s que, por tanto, cumplirían con los requerimientos normativos para constituirse como barrera geológica de un vertedero de residuos no peligrosos.

A pesar de estos valores de permeabilidad, no se puede garantizar la continuidad de la barrera geológica en fondo y laterales de la nueva celda proyectada tras el movimiento de tierras que implica el conformado de base por lo que el proyecto, además del revestimiento artificial impermeable (geomembrana de PEAD), debe complementar la barrera geológica natural con una barrera geológica artificial con un espesor $\geq 0,5$ m y una permeabilidad $K \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s, o equivalente.

8.3 RELACIÓN CON LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES QUE PARTICIPAN EN EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

De la información e investigación realizada sobre las características geotécnicas del vertedero y los elementos que intervienen en el estudio de estabilidad, se obtienen las siguientes conclusiones:

- El sustrato rocoso del emplazamiento está constituido por una secuencia de lutitas margosas y areniscas silíceas de grano fino, litotipo al que se asignan los siguientes parámetros geotécnicos: $\delta = 26$ kN/m³, $c' = 50$ kN/m² y $\phi = 45^\circ$.
- La impermeabilización de fondo se ha modelizado como un material con una resistencia al corte igual a la menor resistencia existente entre las superficies de contacto según los distintos escenarios. Así, en condiciones drenadas o de drenaje deficiente en el interior del cuerpo del vertedero, se han asignado los siguientes parámetros: $\delta = 5$ kN/m³, $c' = 5$ kN/m² y $\phi = 26^\circ$, mientras que bajo la hipótesis de condiciones saturadas dentro y fuera de la impermeabilización, tendremos: $\delta = 5$ kN/m³, $c' = 0$ kN/m² y $\phi = 18^\circ$.
- El proyecto prevé la construcción de un dique de contención en la zona oeste sobre el actual vial de acceso y otro al este. Este elemento se estudia en el perfil A-A' y C-C'. En base a

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
 Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
 Habilitación Profesional



VISADO : 03202500128
 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



parámetros constructivos los parámetros asignados son: ángulo de rozamiento interno $\phi = 40^\circ$, una cohesión efectiva de $c' = 15 \text{ kN/m}^2$ y densidad $\delta = 20 \text{ kN/m}^3$.

- En base a los estudios de estabilidad realizados los parámetros que se le asignan al residuo ya vertido en el cuerpo del vertedero son: $\delta = 16 \text{ kN/m}^3$, $c' = 14 \text{ kN/m}^2$ y $\phi = 20^\circ$.
- En relación con el residuo que se va a depositar en la nueva celda se le asignan los siguientes parámetros:
 - Residuo RNP: $\delta = 18 \text{ kN/m}^3$, $c' = 5 \text{ kN/m}^2$ y $\phi = 26^\circ$.
 - Residuo IN: $\delta = 18 \text{ kN/m}^3$, $c' = 7 \text{ kN/m}^2$ y $\phi = 27^\circ$.

8.4 EN RELACIÓN CON LA ESTABILIDAD GLOBAL DEL VERTEDERO

8.4.1 COMPARATIVA ENTRE METODOS DE CALCULO – FUNDAMENTO TEÓRICO

El análisis comparativo entre el **Método de Equilibrio Límite (MEL)** y el **Método de Elementos Finitos (MEF)** permite destacar tanto las diferencias conceptuales entre ambos enfoques como las variaciones en los resultados obtenidos. El MEL se basa en un planteamiento simplificado que parte de **superficies de rotura predefinidas**, generalmente circulares o poligonales, y evalúa el **equilibrio entre fuerzas y momentos** para obtener un **factor de seguridad global (FS)**. Este enfoque resulta adecuado para cumplir con **criterios normativos**, es ágil en el cálculo y ofrece una visión **conservadora de la estabilidad**, aunque presenta limitaciones importantes: no reproduce **deformaciones** ni **presiones de poro** y depende en gran medida de la **geometría asumida** para el plano de rotura.

Por su parte, el MEF representa un enfoque más avanzado, en el que se resuelve el **campo completo de tensiones y deformaciones**, permitiendo que el **plano de fallo** se desarrolle de manera **natural** en el modelo. De este modo, el MEF es capaz de simular con mayor realismo la influencia de **presiones de poro**, la **interacción entre residuos y geosintéticos** o la **heterogeneidad de materiales**, aportando además una **estimación del volumen movilizable**, aspecto que el MEL no contempla.

8.4.2 PERFIL A-A'

En el **perfil A-A'**, ambos métodos identifican la **rotura en la masa de residuo** en condiciones normales. El MEL sitúa la rotura en el **primer talud del residuo nuevo**, con el **dique de contención resistiendo adecuadamente**. En **condiciones de saturación**, la **interfaz crítica** se traslada a la **impermeabilización de fondo**, que actúa como **plano de deslizamiento preferente**, manteniendo factores de seguridad por encima de lo exigido.

El MEF confirma este comportamiento, pero lo describe con mayor detalle: en la **situación normal (FS = 1,51)** y en la **accidental tipo 1 (FS = 1,442)**, la rotura atraviesa la **masa de residuo justo por encima del dique**, mientras que en la **situación accidental tipo 2** el **plano de deslizamiento se traslada a la interfaz de la impermeabilización**, reduciendo el FS hasta **1,382**. Además, permite cuantificar el **volumen potencialmente movilizable**, que asciende a **33.300 m³**.



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
 Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
 Habilitación Profesional
 2/10 2025
 VISADO : 03202500128
 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Tipo de rotura	Factores de seguridad (FS) - PERFIL A-A'					
	Situación normal		Situación accidental 1		Situación accidental 2	
	MEL	MEF	MEL	MEF	MEL	MEF
Circular por la cabeza del dique	1,50	1,51	1,57	1,44	1,57	1,38
Circular por el cimientado del dique	1,86		1,69		1,62	
Circular conjunto vertedero	1,56		1,57		1,55	
Rotura predeterminada/aleatoria poligonal	1,54		1,42		1,41	

Tabla 28. Resumen de valores de los factores de seguridad (FS) obtenidos para perfil A-A'

8.4.3 PERFIL B-B'

En el **perfil B-B'**, el MEL señala que el **vertedero antiguo actúa como refuerzo pasivo**, conteniendo los empujes derivados de la nueva celda. La **rotura del residuo** se da en el **primer talud de la ampliación**, mientras que otros mecanismos de fallo se concentran en la **interfaz con el vertedero antiguo**. En todos los casos, los FS calculados superan los valores normativos.

El MEF identifica un mecanismo de fallo más complejo: en **situación normal (FS = 2,023)**, el **plano de deslizamiento** se inicia en la **impermeabilización que separa la celda de RNP y la de IN**, extendiéndose hacia el fondo hasta alcanzar el **vertedero antiguo**, donde el desplazamiento se detiene. En las situaciones **accidentales**, el plano de rotura parte de la **cabecera de la nueva celda** y atraviesa el vertedero actual empleando la **impermeabilización como plano de deslizamiento**, con FS de **1,592 y 1,512**. Además, el MEF estima un **volumen movilizable de 105.908 m³**, lo que convierte a este perfil en el más **desfavorable** en términos de masa potencialmente inestable.

Tipo de rotura	Factores de seguridad (FS) - PERFIL B-B'					
	Situación normal		Situación accidental 1		Situación accidental 2	
	MEL	MEF	MEL	MEF	MEL	MEF
Circular por la cabeza del dique	2,16	2,02	2,16	1,59	1,97	1,52
Circular por el cimientado del dique	2,28		1,98		1,98	
Circular conjunto vertedero	2,17		1,98		1,86	
Rotura predeterminada/aleatoria poligonal	2,19		1,79		1,76	

Tabla 29. Resumen de valores de los factores de seguridad (FS) obtenidos para perfil B-B'



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



8.4.4 PERFIL C-C'

En el **perfil C-C'**, tanto el **MEL** como el **MEF** coinciden en que la **rotura se produce a través de la masa de residuo**, sin afectar directamente a la impermeabilización. El **MEL** indica factores de seguridad **próximos o superiores a 1,5** en todas las condiciones, confirmando la estabilidad del sistema.

El **MEF**, por su parte, ofrece una visión más detallada: en **situación normal** se obtiene un **FS de 1,501**, mientras que en las **situaciones accidentales tipo 1 y tipo 2** el valor desciende hasta **1,308**, al generarse **presiones de poro adicionales** en el interior del residuo. Este aspecto explica la diferencia respecto a la situación normal, pese a que el mecanismo de rotura sea el mismo. El volumen potencialmente movilizable estimado es de **3.168 m³**, muy inferior al de los otros perfiles.

Tipo de rotura	Factores de seguridad (FS) - PERFIL C-C'					
	Situación normal		Situación accidental 1		Situación accidental 2	
	MEL	MEF	MEL	MEF	MEL	MEF
Circular por la cabeza del dique	1,50	1,50	1,55	1,30	1,55	1,30
Circular por el cimientado del dique	1,99		1,99		1,98	
Circular conjunto vertedero	1,52		1,57		1,57	
Rotura predeterminada/aleatoria poligonal	1,53		1,46		1,45	

Tabla 30. Resumen de valores de los factores de seguridad (FS) obtenidos para perfil C-C'

8.4.5 CONCLUSIONES FINALES

De forma global, ambos métodos coinciden en que el **vertedero mantiene factores de seguridad superiores a los mínimos exigidos por la AAI** en todos los escenarios, garantizando la estabilidad frente a las condiciones normales y accidentales.

La **rotura más crítica** se produce a lo largo de la **masa de residuos**, y el **análisis de sensibilidad** pone de manifiesto que el **factor determinante** en la **estabilidad global** del nuevo vertedero son las **características geotécnicas** de los propios **residuos**. Por ello, se recomienda asegurar una adecuada **compactación** durante su **disposición**.

Asimismo, en el **perfil C-C'** los **factores de seguridad (FS)** obtenidos mediante el **método de elementos finitos** se sitúan en el **límite** de los valores exigidos tanto en **situación normal** como **accidental**. En consecuencia, se recomienda no exceder la **inclinación del talud 2H:1V**, tal y como se establece en el **plan de explotación**.



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]




ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]



ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LA FASE 3 DEL VERTEDERO DE BISTIBIETA, T.M. DE LEMOA (BIZKAIA)



DOCUMENTO I: ANEXOS

IA25015-EST1
SEPTIEMBRE 2025

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

2/10
2025

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

VISADO : 03202500128

validar

icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

Euskalduna, 5 ext. 1º dcha.
48008 Bilbao
T +34 944 446 853
www.lurgintza.com

Lurgintza

ENTIDAD ACREDITADA PARA LA INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO, INCLUYENDO EL ANÁLISIS DE RIESGOS, DEL DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE Y POLÍTICA TERRITORIAL DE GOBIERNO VASCO.

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA EDIFICACIÓN INSCRITO EN EL REGISTRO GENERAL DE LABORATORIOS DE ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA EDIFICACIÓN CON EL CÓDIGO PVS-L-019 EN EL ÁREA DE GEOTECNIA (CATEGORÍA I, ENSAYOS IN SITU).

ENTIDAD DE COLABORACIÓN AMBIENTAL (ECA) DEL DPTO. DE MEDIO AMBIENTE Y POLÍTICA TERRITORIAL DE GOBIERNO VASCO, NIVEL I Y II: VALIDACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL, INSCRITA EN EL REGISTRO DE ENTIDADES DE COLABORACIÓN AMBIENTAL CON EL CÓDIGO 16R05/2013/539.

ORGANISMO DE CONTROL AUTORIZADO (OCA) POR LA CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE, TERRITORIO E INFRAESTRUCTURAS DE LA XUNTA DE GALICIA PARA LAS ACTIVIDADES DE INSPECCIÓN EN EL ÁREA MEDIOAMBIENTAL.

ORGANISMO DE CONTROL ACREDITADO (OCA) POR LA CONSEJERÍA DE FOMENTO Y MEDIO AMBIENTE DE LA JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN PARA LAS ACTIVIDADES DE INSPECCIÓN ACREDITADAS POR ENAC EN EL ÁREA DE INSPECCIÓN MEDIOAMBIENTAL.

ENTIDAD COLABORADORA EN MATERIA DE CALIDAD AMBIENTAL DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CANARIAS (ECA-34), EN LAS CATEGORÍAS DE ACTIVIDAD, CAMPOS DE ACTUACIÓN, ACTIVIDADES ESPECÍFICAS Y PROCEDIMIENTOS, NORMAS O MÉTODOS PARA LOS QUE SE DISPONE DE ACREDITACIÓN OFICIAL, DE ACUERDO AL DECRETO 70/2012, DE 26 DE JULIO.

ENTIDAD ACREDITADA POR LA CONSELLERÍA DE AGRICULTURA, MEDIO AMBIENTE, CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO RURAL DE LA GENERALITAT VALENCIANA EN LA ACTIVIDAD DE RESIDUOS Y SUELOS CONTAMINADOS.

INDICE DE ANEXOS

1. Anexo 1. Planos
2. Anexo 2. Cálculos equilibrio límite (SLIDE)


ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional
2/10 2025
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR] 

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS	
	Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez	
Habilitación Profesional		
2/10 2025		
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]		

ANEXO 1. PLANOS

INDICE DE PLANOS

- 1.- Situación inicial – Conformado celdas, e: 1 / 3.500.
- 2.- Situación final – Celdas colmatadas, e: 1 / 3.500.
- 3.- Perfiles de estabilidad:
 - 3.1. Situación de los perfiles, e: 1 / 3.500.
 - 3.2. Perfiles, e: 1 / 3.500.

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	Habilitación Profesional
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]	



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10

2025

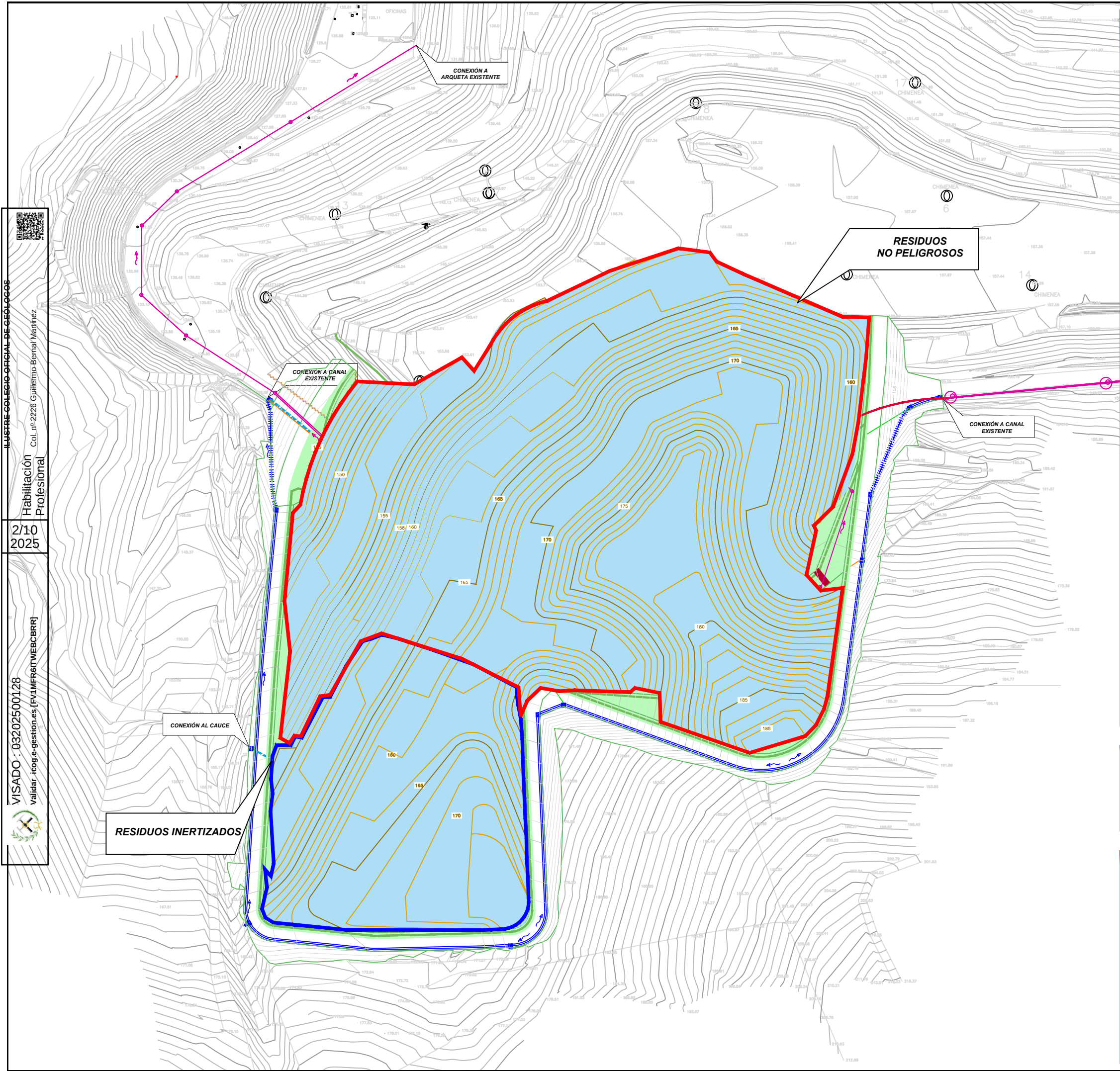
VISADO : 03202500128

validar : cog-e-gestion.es [FV1MFR6TWEBCBR]

ESKALA GRAFIKOA / ESCALA GRAFICA

ORIENTAZIOA / ORIENTACION

PROIEKTUA / PROYECTO		
ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LA FASE 3 DEL VERTEDERO DE BISTIBIETA, T.M. LEMOA (BIZKAIA)		
IZENDURA / DESIGNACIÓN	PLANO ZBKIA. / NUM. PLANO	1
	ORRIA / HOJA	1 DE 1 / 1-TIK 1
	ESKALA / ESCALA	1 / 1.200
	DATA / FECHA	SEP-25
PLAN DE EXPLOTACIÓN	SITUACIÓN INICIAL	
BEZEROA / CLIENTE		PROIEKTUAREN ZUZENDARIA / DIRECTOR DE PROYECTO
		lurgintza ingeniería geológica s.l.



LEGENDA / LEYENDA

SITUACIÓN DE CELDAS

ÁREA DE RESIDUOS NO PELIGROSOS

ÁREA DE RESIDUOS INERTIZADOS

ESKALA GRAFIKOA / ESCALA GRAFICA

0 5 10 20 50 M

ORIENTAZIOA / ORIENTACION

PROIEKTUA / PROYECTO

ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LA FASE 3 DEL VERTEDERO DE BISTIBIETA, T.M. LEMOA (BIZKAIA)

IZENDURA / DESIGNACIÓN

PLANO ZBKIA. / NUM. PLANO

2

ORRIA / HOJA

1 DE 1 / 1-TIK 1

ESKALA / ESCALA

1 / 1.200

DATA / FECHA

SEP-25

PROIEKTUAREN ZUZENDARIA / DIRECTOR DE PROYECTO

BEZEROA / CLIENTE

FCC

ambito

AHOLKULARIA / CONSULTOR

Lurgintza

ingeniería geológica S.L.

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

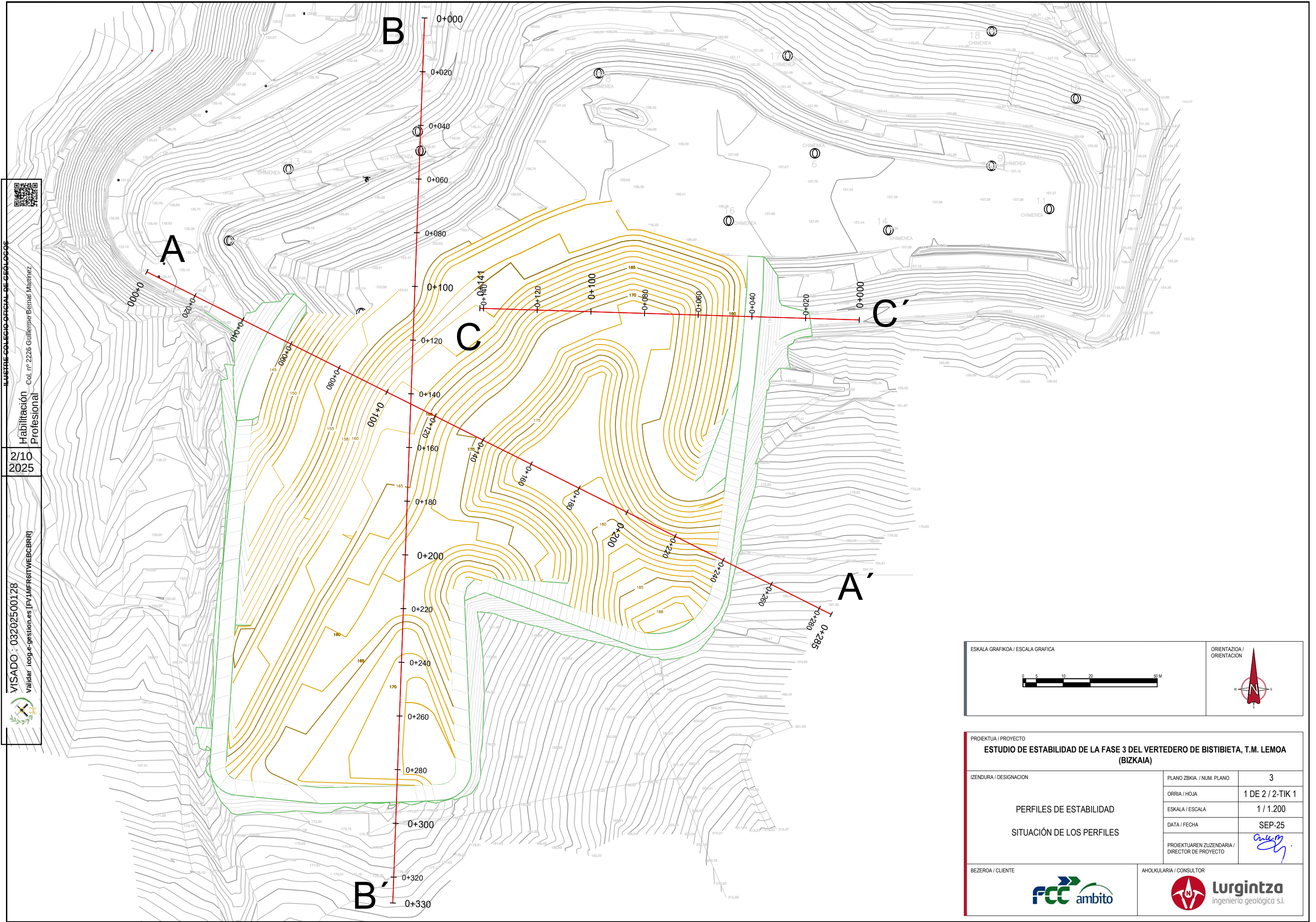
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

validar : cog e-gestion.es [FV1MFR6TWEBCBR]



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

validar [log.e-gestion.es \[FV1MFR61TWBCBRR\]](https://log.e-gestion.es/FV1MFR61TWBCBRR)

ESKALA GRAFIKOA / ESCALA GRAFICA

ORIENTAZIOA / ORIENTACION

PROIEKTUA / PROYECTO		
ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LA FASE 3 DEL VERTEDERO DE BISTIBIETA, T.M. LEMOA (BIZKAIA)		
IZENDURA / DESIGNACION	PLANO ZBKIA. / NUM. PLANO	3
	ORRIA / HOJA	1 DE 2 / 2-TIK 1
	ESKALA / ESCALA	1 / 1.200
	DATA / FECHA	SEP-25
SITUACIÓN DE LOS PERFILES	PROIEKTUAREN ZUZENDARIA / DIRECTOR DE PROYECTO	
BEZEROA / CLIENTE		AHOLKULARIA / CONSULTOR

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS	
	Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez	
Habilitación Profesional		
2/10 2025		
	VISADO : 03202500128	
	Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]	

ANEXO 2. CALCULOS EQUILIBRIO LIMITE (SLIDE)

INDICE DE CALCULOS SLIDE

1. Perfil A-A'

1.1. Situación normal

- 1.1.1. Rotura por la masa de residuo
- 1.1.2. Rotura contacto vertedero-terreno
- 1.1.3. Estabilidad conjunta del vertedero
- 1.1.4. Rotura poligonal

1.2. Situación accidental tipo 1

- 1.2.1. Rotura por la masa de residuo
- 1.2.2. Rotura contacto vertedero-terreno
- 1.2.3. Estabilidad conjunta del vertedero
- 1.2.4. Rotura poligonal

1.3. Situación accidental tipo 2

- 1.3.1. Rotura por la masa de residuo
- 1.3.2. Rotura contacto vertedero-terreno
- 1.3.3. Estabilidad conjunta del vertedero
- 1.3.4. Rotura poligonal

2. Perfil B-B'

2.1. Situación normal

- 2.1.1. Rotura por la masa de residuo
- 2.1.2. Rotura contacto vertedero-terreno
- 2.1.3. Estabilidad conjunta del vertedero
- 2.1.4. Rotura poligonal

2.2. Situación accidental tipo 1

- 2.2.1. Rotura por la masa de residuo
- 2.2.2. Rotura contacto vertedero-terreno
- 2.2.3. Estabilidad conjunta del vertedero

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
	Habilitación Profesional
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

2.2.4. Rotura poligonal

2.3. Situación accidental tipo 2

2.3.1. Rotura por la masa de residuo

2.3.2. Rotura contacto vertedero-terreno

2.3.3. Estabilidad conjunta del vertedero

2.3.4. Rotura poligonal

3. Perfil C-C'

3.1. Situación normal

3.1.1. Rotura por la masa de residuo

3.1.2. Rotura contacto vertedero-terreno

3.1.3. Estabilidad conjunta del vertedero

3.1.4. Rotura poligonal

3.2. Situación accidental tipo 1

3.2.1. Rotura por la masa de residuo

3.2.2. Rotura contacto vertedero-terreno

3.2.3. Estabilidad conjunta del vertedero

3.2.4. Rotura poligonal

3.3. Situación accidental tipo 2

3.3.1. Rotura por la masa de residuo

3.3.2. Rotura contacto vertedero-terreno

3.3.3. Estabilidad conjunta del vertedero

3.3.4. Rotura poligonal

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional	2/10 2025
	VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS	
	Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez	
Habilitación Profesional		
2/10 2025		
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 		

1. PERFIL A-A´

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

1.1. SITUACIÓN NORMAL

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional	2/10 2025	 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]
--	--------------	--

1.1.1. ROTURA POR LA MASA DE RESIDUO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Circular - Residuo

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil A-A'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	26	26	40	45
Water Surface	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.505090
Center: 50.168, 64.191
Radius: 54.730
Left Slip Surface Endpoint: 58.663, 10.125
Right Slip Surface Endpoint: 82.405, 19.963
Resisting Moment=29042.1 kN-m
Driving Moment=19295.9 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.502270
Center: 50.168, 64.191
Radius: 54.730
Left Slip Surface Endpoint: 58.663, 10.125
Right Slip Surface Endpoint: 82.405, 19.963
Resisting Moment=28987.6 kN-m
Driving Moment=19295.9 kN-m
Resisting Horizontal Force=484.458 kN
Driving Horizontal Force=322.484 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 2061
Number of Invalid Surfaces: 2746

Error Codes:

Error Code -103 reported for 447 surfaces
Error Code -107 reported for 1 surface
Error Code -108 reported for 2 surfaces

Error Code -109 reported for 1 surface
Error Code -112 reported for 204 surfaces
Error Code -113 reported for 89 surfaces
Error Code -1000 reported for 2002 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2023
Number of Invalid Surfaces: 2784

Error Codes:

Error Code -103 reported for 447 surfaces
Error Code -107 reported for 1 surface
Error Code -108 reported for 37 surfaces
Error Code -109 reported for 1 surface
Error Code -112 reported for 207 surfaces
Error Code -113 reported for 89 surfaces
Error Code -1000 reported for 2002 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
-107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
-109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
-112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
-113 = Surface intersects outside slope limits.
-1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.50509

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.949674	2.80565	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.06148	6.1129	2.28179	0	2.28179
2	0.949674	8.26956	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.7987	8.72756	7.64263	0	7.64263
3	0.949674	13.4372	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.4215	11.17	12.6505	0	12.6505
4	0.949674	18.3056	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.93051	13.4412	17.3071	0	17.3071
5	0.949674	22.8713	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.3262	15.5419	21.614	0	21.614



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar icoge-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



6	0.949674	27.1306	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.6089	17.4725	25.5724	0	25.5724
7	0.949674	31.0793	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.779	19.2335	29.1831	0	29.1831
8	0.949674	34.7129	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.8364	20.8251	32.4464	0	32.4464
9	0.949674	38.0264	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.7814	22.2473	35.3622	0	35.3622
10	0.949674	41.0145	Residuo nuevo - RNP	5	26	15.6136	23.4999	37.9304	0	37.9304
11	0.949674	43.6712	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.333	24.5826	40.1503	0	40.1503
12	0.949674	45.9901	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.9391	25.4949	42.0208	0	42.0208
13	0.949674	47.9642	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.4315	26.236	43.5403	0	43.5403
14	0.949674	49.5859	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.8097	26.8052	44.7072	0	44.7072
15	0.949674	50.8469	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.0728	27.2012	45.5192	0	45.5192
16	0.949674	51.7382	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.22	27.4228	45.9736	0	45.9736
17	0.949674	52.25	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.2505	27.4686	46.0674	0	46.0674
18	0.949674	52.3717	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.1629	27.3368	45.7971	0	45.7971
19	0.949674	52.0916	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.9561	27.0255	45.1589	0	45.1589
20	0.949674	51.3968	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.6286	26.5326	44.1483	0	44.1483
21	0.949674	50.2732	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.1786	25.8554	42.76	0	42.76
22	0.949674	43.6876	Residuo nuevo - RNP	5	26	15.179	22.8457	36.5891	0	36.5891
23	0.949674	31.7981	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.7098	17.6243	25.8836	0	25.8836
24	0.949674	19.4295	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.15713	12.2772	14.9205	0	14.9205
25	0.949674	6.56155	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.5205	6.80376	3.69825	0	3.69825

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.50227

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.949674	2.80565	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.13139	6.20646	2.47362	0	2.47362
2	0.949674	8.26956	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.02073	9.04476	8.293	0	8.293
3	0.949674	13.4372	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.81251	11.7365	13.8119	0	13.8119
4	0.949674	18.3056	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.4849	14.2489	18.963	0	18.963
5	0.949674	22.8713	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.0183	16.5525	23.6861	0	23.6861



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

6	0.949674	27.1306	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.3968	18.6234	27.9321	0	27.9321
7	0.949674	31.0793	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.6095	20.4452	31.6674	0	31.6674
8	0.949674	34.7129	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.651	22.0098	34.8753	0	34.8753
9	0.949674	38.0264	Residuo nuevo - RNP	5	26	15.5214	23.3173	37.556	0	37.556
10	0.949674	41.0145	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.2258	24.3755	39.7257	0	39.7257
11	0.949674	43.6712	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.7737	25.1987	41.4135	0	41.4135
12	0.949674	45.9901	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.1779	25.8058	42.6583	0	42.6583
13	0.949674	47.9642	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.4527	26.2186	43.5045	0	43.5045
14	0.949674	49.5859	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.6131	26.4596	43.9988	0	43.9988
15	0.949674	50.8469	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.6738	26.5508	44.1858	0	44.1858
16	0.949674	51.7382	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.6479	26.5119	44.106	0	44.106
17	0.949674	52.25	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.5464	26.3595	43.7934	0	43.7934
18	0.949674	52.3717	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.3777	26.106	43.2738	0	43.2738
19	0.949674	52.0916	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.1474	25.76	42.5642	0	42.5642
20	0.949674	51.3968	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.8578	25.3249	41.6723	0	41.6723
21	0.949674	50.2732	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.508	24.7994	40.5947	0	40.5947
22	0.949674	43.6876	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.7213	22.1153	35.0916	0	35.0916
23	0.949674	31.7981	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.5096	17.2906	25.1994	0	25.1994
24	0.949674	19.4295	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.13806	12.2256	14.8146	0	14.8146
25	0.949674	6.56155	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.55536	6.84338	3.7795	0	3.7795

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
0.341395	0.0659174
0.341395	-57.17
285.32	-57.17
285.32	54.5085
245.593	48.1647
243.52	45.9439
238.983	45.5838



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10

2025

VISADO : 03202500128



validar

icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

237.039	45.4001
202.091	44.7809
155.844	43.9176
137.519	35.2216
130.341	35.7507
113.421	28.6019
102.304	28.7969
83.9613	19.8142
78.5977	20.3275
58.2578	9.91765
50.9756	9.89474
40.2903	2.91195

Material Boundary

X	Y
58.2578	9.91765
63.3152	4.91765

Material Boundary

X	Y
62.8729	4.36524
63.3152	4.91765
137.29	11.0011
145.581	19.5639
152.649	19.1447
157.376	16.579
162.517	16.9224
175.979	23.9176
183.087	23.6377
208.194	37.7735
214.784	37.193
237.039	45.4001

Material Boundary

X	Y
40.2903	2.91195
60.3132	1.16849
62.8729	4.36524
137.519	10.5182
145.781	19.0512
152.508	18.6522
157.26	16.0702
162.655	16.4305
176.091	23.4128
183.209	23.1325
208.304	37.2618
214.852	36.6851

 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]	2/10 2025	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Habilitación Profesional Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez 
--	--------------	---

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

1.1.2. ROTURA CONTACTO VERTEDERO-TERRENO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Circular - vertedero y terreno

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil A-A'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search

Radius Increment: 10

Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	26	26	40	45
Water Surface	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.860570
Center: 34.492, 215.893
Radius: 213.060
Left Slip Surface Endpoint: 40.290, 2.912
Right Slip Surface Endpoint: 160.381, 44.002
Resisting Moment=2.26489e+006 kN-m
Driving Moment=1.21731e+006 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.869200
Center: 34.492, 215.893
Radius: 213.060
Left Slip Surface Endpoint: 40.290, 2.912
Right Slip Surface Endpoint: 160.381, 44.002
Resisting Moment=2.2754e+006 kN-m
Driving Moment=1.21731e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force=10159.9 kN
Driving Horizontal Force=5435.44 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1243
Number of Invalid Surfaces: 3564

Error Codes:

Error Code -101 reported for 17 surfaces
Error Code -103 reported for 490 surfaces
Error Code -109 reported for 1 surface
Error Code -112 reported for 114 surfaces
Error Code -118 reported for 49 surfaces
Error Code -1000 reported for 2893 surfaces


ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez
Habilitación Profesional
2/10
2025
VISADO : 03202500128
validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]


Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 1237
Number of Invalid Surfaces: 3570

Error Codes:

Error Code -101 reported for 17 surfaces
Error Code -103 reported for 490 surfaces
Error Code -109 reported for 1 surface
Error Code -112 reported for 120 surfaces
Error Code -118 reported for 49 surfaces
Error Code -1000 reported for 2893 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
- 112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi))/F < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 118 = Surface does not pass through the search focus
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.86057

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	4.58233	129.241	Dique	15	40	20.4319	38.0149	27.428	0	27.428
2	4.58233	383.191	Dique	15	40	44.5779	82.9403	80.9682	0	80.9682
3	4.58233	567.091	Dique	15	40	61.6175	114.644	118.751	0	118.751
4	4.58233	545.221	Dique	15	40	58.9823	109.741	112.908	0	112.908
5	4.58233	585.387	Dique	15	40	62.1723	115.676	119.981	0	119.981
6	2.23275	323.153	Impermeabilización	5	26	39.1764	72.8904	139.196	0	139.196
7	4.99718	843.764	Residuo nuevo - RNP	5	26	45.072	83.8597	161.686	0	161.686
8	4.99718	996.863	Residuo nuevo - RNP	5	26	52.4589	97.6034	189.865	0	189.865
9	4.99718	1120.6	Residuo nuevo - RNP	5	26	58.2902	108.453	212.109	0	212.109
10	4.99718	1044.47	Residuo nuevo - RNP	5	26	54.1641	100.776	196.37	0	196.37
11	4.99718	1088.06	Residuo nuevo - RNP	5	26	55.9649	104.127	203.241	0	203.241
12	4.99718	1185.87	Residuo nuevo - RNP	5	26	60.3826	112.346	220.092	0	220.092
13	4.99718	1271.81	Residuo nuevo - RNP	5	26	64.1604	119.375	234.504	0	234.504
			Residuo nuevo -							

SLIDEINTERPRET 6.005



Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



			RNP							
15	4.99718	1151.2	Residuo nuevo - RNP	5	26	57.541	107.059	209.253	0	209.253
16	4.99718	987.458	Residuo nuevo - RNP	5	26	49.3659	91.8487	178.066	0	178.066
17	4.99718	956.852	Residuo nuevo - RNP	5	26	47.5765	88.5195	171.24	0	171.24
18	4.99718	948.616	Residuo nuevo - RNP	5	26	46.8496	87.167	168.467	0	168.467
19	4.99718	926.356	Residuo nuevo - RNP	5	26	45.469	84.5982	163.201	0	163.201
20	4.99718	775.54	Residuo nuevo - RNP	5	26	38.1621	71.0032	135.327	0	135.327
21	4.99718	541.33	Residuo nuevo - RNP	5	26	27.1365	50.4894	93.2669	0	93.2669
22	4.99718	474.771	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.892	44.4528	80.8903	0	80.8903
23	4.99718	413.925	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.9491	38.9773	69.6637	0	69.6637
24	4.99718	335.68	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.2708	32.1336	55.6321	0	55.6321
25	4.99718	154.618	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.10329	16.9373	24.475	0	24.475

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.8692

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	4.58233	129.241	Dique	15	40	20.7031	38.6983	28.2425	0	28.2425
2	4.58233	383.191	Dique	15	40	46.2338	86.4203	85.1155	0	85.1155
3	4.58233	567.091	Dique	15	40	65.3413	122.136	127.68	0	127.68
4	4.58233	545.221	Dique	15	40	64.1863	119.977	125.107	0	125.107
5	4.58233	585.387	Dique	15	40	68.8134	128.626	135.414	0	135.414
6	2.23275	323.153	Impermeabilización	5	26	41.9903	78.4882	150.673	0	150.673
7	4.99718	843.764	Residuo nuevo - RNP	5	26	47.9483	89.6249	173.507	0	173.507
8	4.99718	996.863	Residuo nuevo - RNP	5	26	55.2236	103.224	201.389	0	201.389
9	4.99718	1120.6	Residuo nuevo - RNP	5	26	60.6768	113.417	222.287	0	222.287
10	4.99718	1044.47	Residuo nuevo - RNP	5	26	55.8906	104.471	203.944	0	203.944
11	4.99718	1088.06	Residuo nuevo - RNP	5	26	56.9415	106.435	207.973	0	207.973
12	4.99718	1185.87	Residuo nuevo - RNP	5	26	60.4761	113.042	221.52	0	221.52
13	4.99718	1271.81	Residuo nuevo - RNP	5	26	63.2912	118.304	232.308	0	232.308
14	4.99718	1301.52	Residuo nuevo - RNP	5	26	63.394	118.496	232.699	0	232.699
15	4.99718	1151.2	Residuo nuevo - RNP	5	26	55.248	103.269	201.483	0	201.483
16	4.99718	987.458	Residuo nuevo - RNP	5	26	46.8101	87.4974	169.145	0	169.145
17	4.99718	956.852	Residuo nuevo - RNP	5	26	44.6834	83.5222	160.994	0	160.994

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]





18	4.99718	948.616	Residuo nuevo - RNP	5	26	43.7412	81.761	157.383	0	157.383
19	4.99718	926.356	Residuo nuevo - RNP	5	26	42.3641	79.1869	152.106	0	152.106
20	4.99718	775.54	Residuo nuevo - RNP	5	26	35.5518	66.4535	125.998	0	125.998
21	4.99718	541.33	Residuo nuevo - RNP	5	26	25.3007	47.2921	86.7117	0	86.7117
22	4.99718	474.771	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.4594	41.9812	75.8226	0	75.8226
23	4.99718	413.925	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.9527	37.2955	66.2155	0	66.2155
24	4.99718	335.68	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.7391	31.2888	53.8999	0	53.8999
25	4.99718	154.618	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.99358	16.8108	24.2158	0	24.2158

List Of Coordinates

Focus Search Line

X	Y
40.2903	2.91195
62.8729	4.36524

External Boundary

X	Y
0.341395	0.0659174
0.341395	-57.17
285.32	-57.17
285.32	54.5085
245.593	48.1647
243.52	45.9439
238.983	45.5838
237.039	45.4001
202.091	44.7809
155.844	43.9176
137.519	35.2216
130.341	35.7507
113.421	28.6019
102.304	28.7969
83.9613	19.8142
78.5977	20.3275
58.2578	9.91765
50.9756	9.89474
40.2903	2.91195

Material Boundary

X	Y
58.2578	9.91765
63.3152	4.91765

Material Boundary

X	Y
62.8729	4.36524
63.3152	4.91765
137.29	11.0011
145.581	19.5639
152.649	19.1447
157.376	16.579
162.517	16.9224
175.979	23.9176
183.087	23.6377
208.194	37.7735
214.784	37.193
237.039	45.4001

Material Boundary

X	Y
40.2903	2.91195
60.3132	1.16849
62.8729	4.36524
137.519	10.5182
145.781	19.0512
152.508	18.6522
157.26	16.0702
162.655	16.4305
176.091	23.4128
183.209	23.1325
208.304	37.2618
214.852	36.6851
238.983	45.5838



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWBCBRR]



	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

1.1.3. ESTABILIDAD CONJUNTA DEL VERTEDERO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Circular - global
Slide Modeler Version: 6.005
Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta
Analysis: Perfil A-A'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	26	26	40	45
Water Surface	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.563170
Center: 50.168, 109.702
Radius: 99.914
Left Slip Surface Endpoint: 58.720, 10.154
Right Slip Surface Endpoint: 108.643, 28.686
Resisting Moment=191293 kN-m
Driving Moment=122375 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.559830
Center: 50.168, 109.702
Radius: 99.914
Left Slip Surface Endpoint: 58.720, 10.154
Right Slip Surface Endpoint: 108.643, 28.686
Resisting Moment=190885 kN-m
Driving Moment=122375 kN-m
Resisting Horizontal Force=1781.69 kN
Driving Horizontal Force=1142.23 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 2422
Number of Invalid Surfaces: 2385

Error Codes:

Error Code -103 reported for 1034 surfaces
Error Code -106 reported for 20 surfaces
Error Code -108 reported for 31 surfaces

Error Code -112 reported for 299 surfaces
Error Code -1000 reported for 1001 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2394
Number of Invalid Surfaces: 2413

Error Codes:

Error Code -103 reported for 1034 surfaces
Error Code -106 reported for 20 surfaces
Error Code -108 reported for 52 surfaces
Error Code -111 reported for 1 surface
Error Code -112 reported for 305 surfaces
Error Code -1000 reported for 1001 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
-106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
-111 = safety factor equation did not converge
-112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi))/F < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
-1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.56317

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.99692	14.9215	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.36968	8.39373	6.95817	0	6.95817
2	1.99692	44.035	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.72697	15.2049	20.9231	0	20.9231
3	1.99692	71.6844	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.8113	21.5894	34.0134	0	34.0134
4	1.99692	97.8582	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.6254	27.5515	46.2375	0	46.2375
5	1.99692	122.543	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.1715	33.0946	57.6027	0	57.6027
6	1.99692	145.725	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.4513	38.2216	68.1145	0	68.1145
7	1.99692	167.384	Residuo nuevo - RNP	5	26	27.4664	42.9347	77.7776	0	77.7776
8	1.99692	187.503	Residuo nuevo - RNP	5	26	30.2178	47.2356	86.5958	0	86.5958

SLIDEINTERPRET 6.005

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VALIDAR

icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

VISADO : 03202500128

icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

9	1.99692	206.058	Residuo nuevo - RNP	5	26	32.7062	51.1254	94.571	0	94.571
10	1.99692	222.98	Residuo nuevo - RNP	5	26	34.9254	54.5944	101.683	0	101.683
11	1.99692	214.58	Residuo nuevo - RNP	5	26	33.503	52.3709	97.1249	0	97.1249
12	1.99692	184.681	Residuo nuevo - RNP	5	26	29.0505	45.4109	82.8547	0	82.8547
13	1.99692	155.823	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.7988	38.7647	69.2278	0	69.2278
14	1.99692	155.938	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.648	38.529	68.7447	0	68.7447
15	1.99692	162.906	Residuo nuevo - RNP	5	26	25.4462	39.7767	71.3028	0	71.3028
16	1.99692	168.072	Residuo nuevo - RNP	5	26	25.9804	40.6118	73.0151	0	73.0151
17	1.99692	171.386	Residuo nuevo - RNP	5	26	26.2485	41.0309	73.8742	0	73.8742
18	1.99692	172.792	Residuo nuevo - RNP	5	26	26.2481	41.0303	73.8731	0	73.8731
19	1.99692	172.231	Residuo nuevo - RNP	5	26	25.9763	40.6053	73.0019	0	73.0019
20	1.99692	169.636	Residuo nuevo - RNP	5	26	25.4297	39.7509	71.2497	0	71.2497
21	1.99692	164.932	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.6045	38.461	68.6053	0	68.6053
22	1.99692	157.484	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.4236	36.615	64.8204	0	64.8204
23	1.99692	124.306	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.8957	29.5372	50.3089	0	50.3089
24	1.99692	76.3372	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.5246	19.5781	29.8894	0	29.8894
25	1.99692	25.8719	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.94113	9.287	8.78966	0	8.78966

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.55983

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.99692	14.9215	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.4537	8.50684	7.19011	0	7.19011
2	1.99692	44.035	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.0453	15.6689	21.8745	0	21.8745
3	1.99692	71.6844	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.4405	22.5247	35.931	0	35.931
4	1.99692	97.8582	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.5859	28.9909	49.1887	0	49.1887
5	1.99692	122.543	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.4315	34.9894	61.4875	0	61.4875
6	1.99692	145.725	Residuo nuevo - RNP	5	26	25.9349	40.4541	72.6916	0	72.6916
7	1.99692	167.384	Residuo nuevo - RNP	5	26	29.0646	45.3358	82.7004	0	82.7004
8	1.99692	187.503	Residuo nuevo - RNP	5	26	31.8023	49.6062	91.4564	0	91.4564

SLIDEINTERPRET 6.005



Page 4 of 6



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

2/10 2025



VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

9	1.99692	206.058	Residuo nuevo - RNP	5	26	34.1437	53.2583	98.9444	0	98.9444
10	1.99692	222.98	Residuo nuevo - RNP	5	26	36.0909	56.2956	105.172	0	105.172
11	1.99692	214.58	Residuo nuevo - RNP	5	26	34.2823	53.4746	99.3878	0	99.3878
12	1.99692	184.681	Residuo nuevo - RNP	5	26	29.4415	45.9238	83.9063	0	83.9063
13	1.99692	155.823	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.8594	38.7765	69.2518	0	69.2518
14	1.99692	155.938	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.3639	38.0036	67.6676	0	67.6676
15	1.99692	162.906	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.8163	38.7092	69.1139	0	69.1139
16	1.99692	168.072	Residuo nuevo - RNP	5	26	25.0463	39.068	69.8496	0	69.8496
17	1.99692	171.386	Residuo nuevo - RNP	5	26	25.0747	39.1123	69.9408	0	69.9408
18	1.99692	172.792	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.9177	38.8673	69.4384	0	69.4384
19	1.99692	172.231	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.5855	38.3492	68.3758	0	68.3758
20	1.99692	169.636	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.0822	37.5642	66.7664	0	66.7664
21	1.99692	164.932	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.405	36.5078	64.6005	0	64.6005
22	1.99692	157.484	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.4726	35.0534	61.6185	0	61.6185
23	1.99692	124.306	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.3514	28.625	48.4385	0	48.4385
24	1.99692	76.3372	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.3551	19.2718	29.2616	0	29.2616
25	1.99692	25.8719	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.95021	9.28132	8.77798	0	8.77798

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
0.341395	0.0659174
0.341395	-57.17
285.32	-57.17
285.32	54.5085
245.593	48.1647
243.52	45.9439
238.983	45.5838
237.039	45.4001
202.091	44.7809
155.844	43.9176
137.519	35.2216
130.341	35.7507
113.421	28.6019

102.304	28.7969
83.9613	19.8142
78.5977	20.3275
58.2578	9.91765
50.9756	9.89474
40.2903	2.91195

Material Boundary

X	Y
58.2578	9.91765
63.3152	4.91765



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
 Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
 Habitación Profesional

2/10
 2025

VISADO : 03202500128
 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]


Material Boundary

X	Y
62.8729	4.36524
63.3152	4.91765
137.29	11.0011
145.581	19.5639
152.649	19.1447
157.376	16.579
162.517	16.9224
175.979	23.9176
183.087	23.6377
208.194	37.7735
214.784	37.193
237.039	45.4001

Material Boundary

X	Y
40.2903	2.91195
60.3132	1.16849
62.8729	4.36524
137.519	10.5182
145.781	19.0512
152.508	18.6522
157.26	16.0702
162.655	16.4305
176.091	23.4128
183.209	23.1325
208.304	37.2618
214.852	36.6851
238.983	45.5838

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

1.1.4. ROTURA POLIGONAL

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Poligonal
Slide Modeler Version: 6.005
Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta
Analysis: Perfil A-A'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Search Method: Auto Refine Search

Divisions along slope: 10
 Circles per division: 10
 Number of iterations: 10
 Divisions to use in next iteration: 50%
 Number of vertices per surface: 12
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	26	26	40	45
Water Surface	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.547330
 Axis Location: 58.992, 37.020
 Left Slip Surface Endpoint: 58.258, 9.918
 Right Slip Surface Endpoint: 80.233, 20.171
 Resisting Moment=22077.4 kN-m
 Driving Moment=14268 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.551480
 Axis Location: 59.012, 37.051
 Left Slip Surface Endpoint: 58.258, 9.918
 Right Slip Surface Endpoint: 80.266, 20.168
 Resisting Moment=20231.6 kN-m
 Driving Moment=13040.2 kN-m
 Resisting Horizontal Force=653.903 kN
 Driving Horizontal Force=421.47 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 2647
 Number of Invalid Surfaces: 1855

Error Codes:

Error Code -105 reported for 483 surfaces
 Error Code -106 reported for 770 surfaces
 Error Code -107 reported for 482 surfaces
 Error Code -108 reported for 108 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2630

Number of Invalid Surfaces: 1873

Error Codes:

Error Code -105 reported for 483 surfaces

Error Code -106 reported for 770 surfaces

Error Code -107 reported for 482 surfaces

Error Code -108 reported for 126 surfaces

Error Code -1000 reported for 12 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.

-106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.

-107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.

-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).

-1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data2/10
2025

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.54733

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.915025	7.35083	Residuo nuevo - RNP	8	26	9.02098	13.9584	12.2166	0	12.2166
2	1.31629	32.2547	Residuo nuevo - RNP	8	26	13.7636	21.2968	27.2625	0	27.2625
3	0.887886	32.9463	Residuo nuevo - RNP	8	26	16.9168	26.1758	37.266	0	37.266
4	0.887886	40.3425	Residuo nuevo - RNP	8	26	19.5503	30.2508	45.6208	0	45.6208
5	0.742009	38.6219	Residuo nuevo - RNP	8	26	20.6333	31.9265	49.0566	0	49.0566
6	0.742009	42.2559	Residuo nuevo - RNP	8	26	22.1095	34.2107	53.7399	0	53.7399
7	0.742009	45.89	Residuo nuevo - RNP	8	26	23.5857	36.4949	58.4233	0	58.4233
8	0.866852	57.292	Residuo nuevo - RNP	8	26	23.8846	36.9573	59.3712	0	59.3712
9	0.866852	60.4084	Residuo nuevo - RNP	8	26	24.9255	38.5679	62.6735	0	62.6735
10	0.866852	63.5249	Residuo nuevo - RNP	8	26	25.9663	40.1785	65.9757	0	65.9757
			Residuo nuevo							

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]





			- RNP								
12	1.29947	102.396	Residuo nuevo - RNP	8	26	26.6051	41.1668	68.0021	0	68.0021	
13	0.852843	68.15	Residuo nuevo - RNP	8	26	26.0226	40.2655	66.1541	0	66.1541	
14	0.852843	67.9302	Residuo nuevo - RNP	8	26	25.9529	40.1577	65.9331	0	65.9331	
15	0.852843	67.7103	Residuo nuevo - RNP	8	26	25.8832	40.0499	65.712	0	65.712	
16	0.772687	60.4299	Residuo nuevo - RNP	8	26	24.6616	38.1597	61.8365	0	61.8365	
17	0.772687	58.796	Residuo nuevo - RNP	8	26	24.1104	37.3068	60.0879	0	60.0879	
18	0.772687	57.1622	Residuo nuevo - RNP	8	26	23.5592	36.4539	58.3392	0	58.3392	
19	0.929065	65.3462	Residuo nuevo - RNP	8	26	21.7196	33.6074	52.5029	0	52.5029	
20	0.929065	60.5416	Residuo nuevo - RNP	8	26	20.4247	31.6037	48.3947	0	48.3947	
21	0.724205	42.929	Residuo nuevo - RNP	8	26	18.0589	27.9431	40.8893	0	40.8893	
22	0.724205	38.148	Residuo nuevo - RNP	8	26	16.4836	25.5055	35.8916	0	35.8916	
23	0.786618	34.6895	Residuo nuevo - RNP	8	26	13.6709	21.1534	26.9684	0	26.9684	
24	0.786618	22.5342	Residuo nuevo - RNP	8	26	10.1793	15.7507	15.8912	0	15.8912	
25	0.786618	7.51139	Residuo nuevo - RNP	8	26	5.86393	9.07343	2.20085	0	2.20085	

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.55148

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.69829	4.47343	Residuo nuevo - RNP	8	26	8.81781	13.6807	11.6471	0	11.6471
2	1.01946	19.7488	Residuo nuevo - RNP	8	26	13.0383	20.2286	25.0723	0	25.0723
3	0.684019	19.8393	Residuo nuevo - RNP	8	26	15.6993	24.3571	33.537	0	33.537
4	0.684019	24.0429	Residuo nuevo - RNP	8	26	18.2207	28.2691	41.5578	0	41.5578
5	0.976119	40.2519	Residuo nuevo - RNP	8	26	19.199	29.7868	44.6696	0	44.6696
6	0.976119	46.1367	Residuo nuevo - RNP	8	26	21.4206	33.2336	51.7366	0	51.7366
7	0.88781	46.2491	Residuo nuevo - RNP	8	26	21.6639	33.6111	52.5106	0	52.5106
8	0.88781	49.4694	Residuo nuevo - RNP	8	26	22.7272	35.2608	55.8929	0	55.8929
9	0.88781	52.6896	Residuo nuevo - RNP	8	26	23.7366	36.8269	59.1038	0	59.1038
10	0.80854	50.2461	Residuo nuevo - RNP	8	26	23.0821	35.8114	57.0218	0	57.0218
			Residuo nuevo							



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



			- RNP							
12	0.80854	53.4241	Residuo nuevo - RNP	8	26	23.7602	36.8634	59.1788	0	59.1788
13	0.80854	55.0132	Residuo nuevo - RNP	8	26	24.0773	37.3554	60.1875	0	60.1875
14	1.00232	69.6098	Residuo nuevo - RNP	8	26	22.9508	35.6077	56.6041	0	56.6041
15	1.00232	70.4636	Residuo nuevo - RNP	8	26	22.9298	35.5752	56.5376	0	56.5376
16	1.00232	71.3174	Residuo nuevo - RNP	8	26	22.9432	35.5959	56.58	0	56.58
17	1.10979	78.8375	Residuo nuevo - RNP	8	26	21.5697	33.4649	52.2108	0	52.2108
18	1.10979	77.6384	Residuo nuevo - RNP	8	26	21.2876	33.0273	51.3135	0	51.3135
19	1.05186	71.0414	Residuo nuevo - RNP	8	26	19.4984	30.2514	45.6221	0	45.6221
20	1.05186	67.0899	Residuo nuevo - RNP	8	26	18.8837	29.2977	43.6668	0	43.6668
21	0.761477	44.8633	Residuo nuevo - RNP	8	26	16.6	25.7546	36.4024	0	36.4024
22	0.761477	40.313	Residuo nuevo - RNP	8	26	15.6506	24.2816	33.3822	0	33.3822
23	0.739862	32.8534	Residuo nuevo - RNP	8	26	12.7962	19.8531	24.3025	0	24.3025
24	0.739862	20.7084	Residuo nuevo - RNP	8	26	9.70921	15.0636	14.4826	0	14.4826
25	0.739862	6.90279	Residuo nuevo - RNP	8	26	5.7749	8.95964	1.96754	0	1.96754

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
0.341395	0.0659174
0.341395	-57.17
285.32	-57.17
285.32	54.5085
245.593	48.1647
243.52	45.9439
238.983	45.5838
237.039	45.4001
202.091	44.7809
155.844	43.9176
137.519	35.2216
130.341	35.7507
113.421	28.6019
102.304	28.7969
83.9613	19.8142
78.5977	20.3275
58.2578	9.91765

50.9756	9.89474
40.2903	2.91195

Material Boundary

X	Y
58.2578	9.91765
63.3152	4.91765

Material Boundary



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10 2025

VISADO : 03202500128

validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



X	Y
62.8729	4.36524
63.3152	4.91765
137.29	11.0011
145.581	19.5639
152.649	19.1447
157.376	16.579
162.517	16.9224
175.979	23.9176
183.087	23.6377
208.194	37.7735
214.784	37.193
237.039	45.4001

Material Boundary

X	Y
40.2903	2.91195
60.3132	1.16849
62.8729	4.36524
137.519	10.5182
145.781	19.0512
152.508	18.6522
157.26	16.0702
162.655	16.4305
176.091	23.4128
183.209	23.1325
208.304	37.2618
214.852	36.6851
238.983	45.5838

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

1.2. SITUACIÓN ACCIDENTAL TIPO 1

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional	2/10 2025	 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]
--	--------------	--

1.2.1. ROTURA POR LA MASA DE RESIDUO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 1 Circular - Residuo

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil A-A'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	26	26	40	45
Water Surface	None	Water Table	None	None
Hu Value		1		
Ru Value	0		0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.576660
Center: 50.168, 64.191
Radius: 53.954
Left Slip Surface Endpoint: 61.049, 11.346
Right Slip Surface Endpoint: 81.230, 20.076
Resisting Moment=19302.3 kN-m
Driving Moment=12242.5 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.573900
Center: 50.168, 64.191
Radius: 53.954
Left Slip Surface Endpoint: 61.049, 11.346
Right Slip Surface Endpoint: 81.230, 20.076
Resisting Moment=19268.4 kN-m
Driving Moment=12242.5 kN-m
Resisting Horizontal Force=325.059 kN
Driving Horizontal Force=206.531 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1504
Number of Invalid Surfaces: 3303

Error Codes:

Error Code -103 reported for 447 surfaces

Error Code -107 reported for 1 surface
 Error Code -109 reported for 1 surface
 Error Code -110 reported for 572 surfaces
 Error Code -112 reported for 191 surfaces
 Error Code -113 reported for 89 surfaces
 Error Code -1000 reported for 2002 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 1495
 Number of Invalid Surfaces: 3312

Error Codes:

Error Code -103 reported for 447 surfaces
 Error Code -107 reported for 1 surface
 Error Code -108 reported for 5 surfaces
 Error Code -109 reported for 1 surface
 Error Code -110 reported for 572 surfaces
 Error Code -112 reported for 195 surfaces
 Error Code -113 reported for 89 surfaces
 Error Code -1000 reported for 2002 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
 -107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
 -108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
 -109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
 -110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
 -112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
 -113 = Surface intersects outside slope limits.
 -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.57666

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.807206	1.74698	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.60252	5.67995	1.39409	0	1.39409
2	0.807206	5.14664	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.80216	7.57137	5.27209	0	5.27209
			Residuo nuevo							

SLIDEINTERPRET 6.005



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



			- RNP								
4	0.807206	11.375	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.96489	10.9813	12.2634	0	12.2634	
5	0.807206	14.1994	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.92825	12.5002	15.3776	0	15.3776	
6	0.807206	16.8273	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.81302	13.8951	18.2377	0	18.2377	
7	0.807206	19.2562	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.61913	15.1661	20.8436	0	20.8436	
8	0.807206	21.483	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.3466	16.3131	23.1952	0	23.1952	
9	0.807206	23.5048	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.9952	17.3357	25.292	0	25.292	
10	0.807206	25.3183	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.5648	18.2338	27.1332	0	27.1332	
11	0.807206	26.9197	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.0551	19.0068	28.7181	0	28.7181	
12	0.807206	28.3054	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.4657	19.6542	30.0456	0	30.0456	
13	0.807206	29.471	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.7964	20.1755	31.1143	0	31.1143	
14	0.807206	30.4123	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.0464	20.5698	31.9228	0	31.9228	
15	0.807206	31.1244	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.2156	20.8365	32.4695	0	32.4695	
16	0.807206	31.6021	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.3031	20.9744	32.7524	0	32.7524	
17	0.807206	31.84	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.3083	20.9826	32.7692	0	32.7692	
18	0.807206	31.8319	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.2304	20.8599	32.5176	0	32.5176	
19	0.807206	31.5716	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.0687	20.6049	31.9949	0	31.9949	
20	0.807206	31.052	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.8222	20.2163	31.1981	0	31.1981	
21	0.807206	30.2656	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.49	19.6925	30.1242	0	30.1242	
22	0.807206	28.9627	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.9932	18.9092	28.5179	0	28.5179	
23	0.807206	22.4414	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.83008	15.4987	21.5255	0	21.5255	
24	0.807206	13.678	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.97972	11.0047	12.3114	0	12.3114	
25	0.807206	4.61088	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.06941	6.41608	2.9034	0	2.9034	

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.5739

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.807206	1.74698	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.66179	5.7633	1.56499	0	1.56499
2	0.807206	5.14664	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.97769	7.83438	5.81133	0	5.81133
			Residuo nuevo							



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



			- RNP							
4	0.807206	11.375	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.3625	11.5878	13.507	0	13.507
5	0.807206	14.1994	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.40777	13.233	16.8801	0	16.8801
6	0.807206	16.8273	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.34312	14.7051	19.8985	0	19.8985
7	0.807206	19.2562	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.1635	15.9964	22.5459	0	22.5459
8	0.807206	21.483	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.8673	17.104	24.8169	0	24.8169
9	0.807206	23.5048	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.456	18.0306	26.7167	0	26.7167
10	0.807206	25.3183	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.934	18.783	28.2595	0	28.2595
11	0.807206	26.9197	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.3082	19.3718	29.4666	0	29.4666
12	0.807206	28.3054	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.5866	19.81	30.3649	0	30.3649
13	0.807206	29.471	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.7783	20.1117	30.9836	0	30.9836
14	0.807206	30.4123	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.8925	20.2915	31.3522	0	31.3522
15	0.807206	31.1244	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.9378	20.3628	31.4985	0	31.4985
16	0.807206	31.6021	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.9219	20.3378	31.4471	0	31.4471
17	0.807206	31.84	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.8509	20.2261	31.2181	0	31.2181
18	0.807206	31.8319	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.7295	20.0349	30.8262	0	30.8262
19	0.807206	31.5716	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.5603	19.7686	30.2802	0	30.2802
20	0.807206	31.052	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.344	19.4283	29.5825	0	29.5825
21	0.807206	30.2656	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.0794	19.0117	28.7282	0	28.7282
22	0.807206	28.9627	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.6875	18.3949	27.4637	0	27.4637
23	0.807206	22.4414	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.69985	15.2666	21.0497	0	21.0497
24	0.807206	13.678	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.98675	10.9964	12.2945	0	12.2945
25	0.807206	4.61088	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.10625	6.46282	2.99923	0	2.99923

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
60.9013	7.30417
129.125	23.036
166.01	32.185

184.452	37.122
208.413	40.462
223.649	40.462

External Boundary

X	Y
0.341395	0.0659174
0.341395	-57.17
285.32	-57.17
285.32	54.5085
245.593	48.1647
243.52	45.9439
238.983	45.5838
237.039	45.4001
202.091	44.7809
155.844	43.9176
137.519	35.2216
130.341	35.7507
113.421	28.6019
102.304	28.7969
83.9613	19.8142
78.5977	20.3275
58.2578	9.91765
50.9756	9.89474
40.2903	2.91195



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10
2025

Material Boundary

X	Y
58.2578	9.91765
63.3152	4.91765

Material Boundary

X	Y
62.8729	4.36524
63.3152	4.91765
137.29	11.0011
145.581	19.5639
152.649	19.1447
157.376	16.579
162.517	16.9224
175.979	23.9176
183.087	23.6377
208.194	37.7735
214.784	37.193
237.039	45.4001

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Material Boundary



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10

2025



VISADO : 03202500128

validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

X	Y
40.2903	2.91195
60.3132	1.16849
62.8729	4.36524
137.519	10.5182
145.781	19.0512
152.508	18.6522
157.26	16.0702
162.655	16.4305
176.091	23.4128
183.209	23.1325
208.304	37.2618
214.852	36.6851
238.983	45.5838

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS	
	Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez	
Habilitación Profesional		
2/10 2025		
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]		

1.2.2. ROTURA CONTACTO VERTEDERO-TERRENO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 1 Circular - vertedero y terreno

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil A-A'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search

Radius Increment: 10

Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	26	26	40	45
Water Surface	None	Water Table	None	None
Hu Value		1		
Ru Value	0		0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.695170
Center: 44.050, 209.579
Radius: 206.075
Left Slip Surface Endpoint: 41.226, 3.523
Right Slip Surface Endpoint: 166.898, 44.124
Resisting Moment=2.38957e+006 kN-m
Driving Moment=1.40964e+006 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.710040
Center: 44.050, 209.579
Radius: 206.075
Left Slip Surface Endpoint: 41.226, 3.523
Right Slip Surface Endpoint: 166.898, 44.124
Resisting Moment=2.41055e+006 kN-m
Driving Moment=1.40964e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force=11086.2 kN
Driving Horizontal Force=6482.98 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1981
Number of Invalid Surfaces: 7677

Error Codes:

Error Code -101 reported for 25 surfaces
Error Code -103 reported for 685 surfaces
Error Code -109 reported for 1 surface
Error Code -110 reported for 166 surfaces
Error Code -112 reported for 136 surfaces
Error Code -118 reported for 86 surfaces
Error Code -1000 reported for 6578 surfaces

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar [icoge.gestion.es \[FV1MFR6ITWBCBRR\]](https://icoge.gestion.es/FV1MFR6ITWBCBRR)



Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 1974

Number of Invalid Surfaces: 7684

Error Codes:

Error Code -101 reported for 25 surfaces
 Error Code -103 reported for 685 surfaces
 Error Code -108 reported for 1 surface
 Error Code -109 reported for 1 surface
 Error Code -110 reported for 166 surfaces
 Error Code -112 reported for 142 surfaces
 Error Code -118 reported for 86 surfaces
 Error Code -1000 reported for 6578 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi))/F < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 118 = Surface does not pass through the search focus
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.69517

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	5.41181	191.563	Dique	15	40	26.3776	44.7145	35.4124	0	35.4124
2	5.41181	559.497	Dique	15	40	59.2715	100.475	101.865	0	101.865
3	5.41181	660.97	Dique	15	40	67.5693	114.542	118.629	0	118.629
4	5.41181	700.978	Dique	15	40	70.2431	119.074	124.031	0	124.031
5	4.21774	642.371	Impermeabilización	5	26	45.4384	77.0258	147.675	0	147.675
6	4.21774	775.302	Impermeabilización	5	26	53.9346	91.4284	177.204	0	177.204
7	4.21774	908.292	Impermeabilización	5	26	62.3342	105.667	206.399	0	206.399
8	5.07622	1230.54	Residuo nuevo - RNP	5	26	56.1273	95.1453	233.043	48.218	184.825
9	5.07622	1169.65	Residuo nuevo - RNP	5	26	51.7801	87.7761	220.439	50.7229	169.716
10	5.07622	1241.65	Residuo nuevo - RNP	5	26	54.9256	93.1082	232.58	51.9313	180.649

SLIDEINTERPRET 6.005

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



11	5.07622	1360.83	Residuo nuevo - RNP	5	26	60.8717	103.188	253.139	51.8227	201.316
12	5.07622	1467.53	Residuo nuevo - RNP	5	26	66.4258	112.603	270.993	50.3737	220.619
13	5.07622	1499.67	Residuo nuevo - RNP	5	26	68.3619	115.885	274.906	47.5573	227.349
14	5.07622	1354.23	Residuo nuevo - RNP	5	26	61.4294	104.133	246.597	43.343	203.254
15	5.07622	1215.74	Residuo nuevo - RNP	5	26	55.3196	93.7761	219.713	37.6961	182.017
16	5.07622	1216.37	Residuo nuevo - RNP	5	26	56.7662	96.2284	217.623	30.5776	187.045
17	5.07622	1224.96	Residuo nuevo - RNP	5	26	58.9685	99.9617	216.644	21.9434	194.701
18	5.07622	1214.29	Residuo nuevo - RNP	5	26	60.5524	102.647	211.948	11.7437	200.205
19	5.07622	1036.4	Residuo nuevo - RNP	5	26	53.9742	91.4955	178.082	0.740354	177.342
20	5.07622	848.32	Residuo nuevo - RNP	5	26	44.4162	75.293	144.122	0	144.122
21	5.07622	813.574	Residuo nuevo - RNP	5	26	42.3212	71.7417	136.841	0	136.841
22	5.07622	767.453	Residuo nuevo - RNP	5	26	39.6953	67.2902	127.714	0	127.714
23	5.07622	700.026	Residuo nuevo - RNP	5	26	36.0776	61.1576	115.14	0	115.14
24	5.07622	477.048	Residuo nuevo - RNP	5	26	25.1247	42.5906	77.0721	0	77.0721
25	5.07622	162.465	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.078	17.0839	24.7757	0	24.7757

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.71004

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	5.41181	191.563	Dique	15	40	26.8126	45.8506	36.7663	0	36.7663
2	5.41181	559.497	Dique	15	40	62.2825	106.506	109.052	0	109.052
3	5.41181	660.97	Dique	15	40	73.6603	125.962	132.24	0	132.24
4	5.41181	700.978	Dique	15	40	79.0239	135.134	143.17	0	143.17
5	4.21774	642.371	Impermeabilización	5	26	49.6556	84.913	163.846	0	163.846
6	4.21774	775.302	Impermeabilización	5	26	58.5207	100.073	194.928	0	194.928
7	4.21774	908.292	Impermeabilización	5	26	67.1066	114.755	225.031	0	225.031
8	5.07622	1230.54	Residuo nuevo - RNP	5	26	59.6974	102.085	247.271	48.218	199.053
9	5.07622	1169.65	Residuo nuevo - RNP	5	26	54.3864	93.003	231.156	50.7229	180.433
10	5.07622	1241.65	Residuo nuevo - RNP	5	26	56.5413	96.6879	239.919	51.9313	187.988
11	5.07622	1360.83	Residuo nuevo - RNP	5	26	61.3682	104.942	256.735	51.8227	204.912
12	5.07622	1467.53	Residuo nuevo - RNP	5	26	65.685	112.324	270.421	50.3737	220.047
13	5.07622	1499.67	Residuo nuevo - RNP	5	26	66.3961	113.54	270.098	47.5573	222.541
14	5.07622	1354.23	Residuo nuevo - RNP	5	26	58.5523	100.127	238.381	43.343	195.038

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



15	5.07622	1215.74	Residuo nuevo - RNP	5	26	51.8338	88.6378	209.179	37.6961	171.483
16	5.07622	1216.37	Residuo nuevo - RNP	5	26	52.7113	90.1385	205.138	30.5776	174.561
17	5.07622	1224.96	Residuo nuevo - RNP	5	26	54.5516	93.2855	202.956	21.9434	181.012
18	5.07622	1214.29	Residuo nuevo - RNP	5	26	56.0513	95.8499	198.013	11.7437	186.27
19	5.07622	1036.4	Residuo nuevo - RNP	5	26	50.0299	85.5531	165.899	0.740354	165.158
20	5.07622	848.32	Residuo nuevo - RNP	5	26	41.0435	70.1861	133.651	0	133.651
21	5.07622	813.574	Residuo nuevo - RNP	5	26	39.2678	67.1495	127.425	0	127.425
22	5.07622	767.453	Residuo nuevo - RNP	5	26	37.1642	63.5523	120.05	0	120.05
23	5.07622	700.026	Residuo nuevo - RNP	5	26	34.2546	58.5767	109.849	0	109.849
24	5.07622	477.048	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.267	41.4975	74.8309	0	74.8309
25	5.07622	162.465	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.92702	16.9756	24.5537	0	24.5537

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
60.9013	7.30417
129.125	23.036
166.01	32.185
184.452	37.122
208.413	40.462
223.649	40.462

Focus Search Line

X	Y
40.2903	2.91195
62.8729	4.36524

External Boundary

X	Y
0.341395	0.0659174
0.341395	-57.17
285.32	-57.17
285.32	54.5085
245.593	48.1647
243.52	45.9439
238.983	45.5838
237.039	45.4001
202.091	44.7809
155.844	43.9176

137.519	35.2216
130.341	35.7507
113.421	28.6019
102.304	28.7969
83.9613	19.8142
78.5977	20.3275
58.2578	9.91765
50.9756	9.89474
40.2903	2.91195



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Material Boundary

X	Y
58.2578	9.91765
63.3152	4.91765

Material Boundary

X	Y
62.8729	4.36524
63.3152	4.91765
137.29	11.0011
145.581	19.5639
152.649	19.1447
157.376	16.579
162.517	16.9224
175.979	23.9176
183.087	23.6377
208.194	37.7735
214.784	37.193
237.039	45.4001

Material Boundary

X	Y
40.2903	2.91195
60.3132	1.16849
62.8729	4.36524
137.519	10.5182
145.781	19.0512
152.508	18.6522
157.26	16.0702
162.655	16.4305
176.091	23.4128
183.209	23.1325
208.304	37.2618
214.852	36.6851
238.983	45.5838

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

1.2.3. ESTABILIDAD CONJUNTA DEL VERTEDERO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 1 Circular - global

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil A-A'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	26	26	40	45
Water Surface	None	Water Table	None	None
Hu Value		1		
Ru Value	0		0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.574510
Center: 81.522, 140.042
Radius: 133.114
Left Slip Surface Endpoint: 53.540, 9.903
Right Slip Surface Endpoint: 173.957, 44.256
Resisting Moment=1.60698e+006 kN-m
Driving Moment=1.02062e+006 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.575690
Center: 81.522, 140.042
Radius: 133.114
Left Slip Surface Endpoint: 53.540, 9.903
Right Slip Surface Endpoint: 173.957, 44.256
Resisting Moment=1.60818e+006 kN-m
Driving Moment=1.02062e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force=11338.3 kN
Driving Horizontal Force=7195.76 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 2150
Number of Invalid Surfaces: 2657

Error Codes:

Error Code -103 reported for 1034 surfaces

Error Code -106 reported for 20 surfaces
 Error Code -108 reported for 31 surfaces
 Error Code -110 reported for 284 surfaces
 Error Code -112 reported for 287 surfaces
 Error Code -1000 reported for 1001 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2120
 Number of Invalid Surfaces: 2687

Error Codes:

Error Code -103 reported for 1034 surfaces
 Error Code -106 reported for 20 surfaces
 Error Code -108 reported for 53 surfaces
 Error Code -110 reported for 284 surfaces
 Error Code -111 reported for 1 surface
 Error Code -112 reported for 294 surfaces
 Error Code -1000 reported for 1001 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 111 = safety factor equation did not converge
- 112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.57451

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	5.87102	71.9053	Dique	15	40	17.8764	28.1465	15.6674	0	15.6674
2	4.77276	284.273	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.6768	35.7048	62.9541	0	62.9541
3	4.77276	548.024	Residuo nuevo - RNP	5	26	37.57	59.1543	119.064	8.03084	111.033
4	4.77276	796.777	Residuo nuevo - RNP	5	26	48.8393	76.898	170.683	23.2699	147.413
5	4.77276	1030.69	Residuo nuevo - RNP	5	26	59.4138	93.5476	218.364	36.8139	181.55



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icoge-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

6	4.77276	1130.26	Residuo nuevo - RNP	5	26	61.5461	96.905	237.108	48.6737	188.434
7	4.77276	1173.63	Residuo nuevo - RNP	5	26	60.5349	95.3128	244.022	58.8533	185.168
8	4.77276	1351.81	Residuo nuevo - RNP	5	26	68.6252	108.051	278.637	67.3504	211.287
9	4.77276	1517.66	Residuo nuevo - RNP	5	26	76.2675	120.084	310.113	74.1559	235.957
10	4.77276	1668.54	Residuo nuevo - RNP	5	26	83.3116	131.175	337.952	79.2543	258.697
11	4.77276	1697.62	Residuo nuevo - RNP	5	26	83.2018	131.002	340.964	82.6228	258.342
12	4.77276	1609.96	Residuo nuevo - RNP	5	26	76.4847	120.426	320.89	84.2311	236.659
13	4.77276	1548.73	Residuo nuevo - RNP	5	26	72.0021	113.368	306.229	84.0409	222.188
14	4.77276	1600.55	Residuo nuevo - RNP	5	26	74.848	117.849	313.378	82.0048	231.373
15	4.77276	1644.74	Residuo nuevo - RNP	5	26	77.6851	122.316	318.598	78.0651	240.533
16	4.77276	1669.7	Residuo nuevo - RNP	5	26	79.8515	125.727	319.68	72.1531	247.527
17	4.77276	1550.66	Residuo nuevo - RNP	5	26	74.023	116.55	293.628	64.9159	228.712
18	4.77276	1382.52	Residuo nuevo - RNP	5	26	66.0698	104.028	258.65	55.613	203.037
19	4.77276	1359.03	Residuo nuevo - RNP	5	26	66.9675	105.441	249.976	44.0403	205.935
20	4.77276	1329.45	Residuo nuevo - RNP	5	26	68.0821	107.196	239.59	30.058	209.532
21	4.77276	1277.3	Residuo nuevo - RNP	5	26	68.5375	107.913	224.502	13.4981	211.004
22	4.77276	1141.73	Residuo nuevo - RNP	5	26	63.6552	100.226	195.242	0	195.242
23	4.77276	855.691	Residuo nuevo - RNP	5	26	47.5436	74.8579	143.23	0	143.23
24	4.77276	536.478	Residuo nuevo - RNP	5	26	30.1996	47.5496	87.2397	0	87.2397
25	4.77276	184.591	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.802	18.5823	27.8478	0	27.8478

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.57569

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	5.87102	71.9053	Dique	15	40	18.4973	29.146	16.8586	0	16.8586
2	4.77276	284.273	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.9708	37.7706	67.1897	0	67.1897
3	4.77276	548.024	Residuo nuevo - RNP	5	26	40.4889	63.798	128.585	8.03084	120.554
4	4.77276	796.777	Residuo nuevo - RNP	5	26	53.5695	84.4089	186.082	23.2699	162.812
5	4.77276	1030.69	Residuo nuevo - RNP	5	26	65.863	103.78	239.343	36.8139	202.529
			Residuo nuevo							

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional 2/10 2025 VISADO : 03202500128 Validar coog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]		- RNP Residuo nuevo - RNP	7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	4.77276 4.77276 4.77276 4.77276 4.77276 4.77276 4.77276 4.77276 4.77276 4.77276 4.77276 4.77276 4.77276 4.77276 4.77276 4.77276 4.77276 4.77276 4.77276	1173.63 1351.81 1517.66 1668.54 1697.62 1609.96 1548.73 1600.55 1644.74 1669.7 1550.66 1382.52 1359.03 1329.45 1277.3 1141.73 855.691 536.478 184.591	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26	67.724 75.8449 82.923 88.8252 86.8223 77.8465 71.2919 72.3391 73.5678 74.4309 67.8839 59.8206 60.7668 62.3263 63.623 59.957 45.2983 29.2704 11.6947	106.712 119.508 130.661 139.961 136.805 122.662 112.334 113.984 115.92 117.28 106.964 94.2587 95.7496 98.207 100.25 94.4736 71.3761 46.1211 18.4273	267.393 302.126 331.798 355.965 352.862 325.474 304.109 305.456 305.485 302.361 273.973 238.621 230.105 221.161 208.79 183.449 136.091 84.3107 27.53	58.8533 67.3504 74.1559 79.2543 82.6228 84.2311 84.0409 82.0048 78.0651 72.1531 64.9159 55.613 44.0403 30.058 13.4981 0 0 0 0	208.54 234.776 257.642 276.71 270.239 241.243 220.068 223.452 227.42 230.208 209.057 183.008 186.065 191.103 195.292 183.449 136.091 84.3107 27.53
--	--	---	--	--	--	--	---	--	--	---	--	---

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
60.9013	7.30417
129.125	23.036
166.01	32.185
184.452	37.122
208.413	40.462
223.649	40.462

External Boundary



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128



validar

icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

X	Y
0.341395	0.0659174
0.341395	-57.17
285.32	-57.17
285.32	54.5085
245.593	48.1647
243.52	45.9439
238.983	45.5838
237.039	45.4001
202.091	44.7809
155.844	43.9176
137.519	35.2216
130.341	35.7507
113.421	28.6019
102.304	28.7969
83.9613	19.8142
78.5977	20.3275
58.2578	9.91765
50.9756	9.89474
40.2903	2.91195

Material Boundary

X	Y
58.2578	9.91765
63.3152	4.91765

Material Boundary

X	Y
62.8729	4.36524
63.3152	4.91765
137.29	11.0011
145.581	19.5639
152.649	19.1447
157.376	16.579
162.517	16.9224
175.979	23.9176
183.087	23.6377
208.194	37.7735
214.784	37.193
237.039	45.4001

Material Boundary

X	Y
40.2903	2.91195
60.3132	1.16849
62.8729	4.36524
137.519	10.5182

145.781	19.0512
152.508	18.6522
157.26	16.0702
162.655	16.4305
176.091	23.4128
183.209	23.1325
208.304	37.2618
214.852	36.6851
238.983	45.5838



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10

2025



VISADO : 03202500128

validar

icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS	
	Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez	
Habilitación Profesional		
2/10 2025		
 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]		

1.2.4. ROTURA POLIGONAL

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 1 - Poligonal

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil A-A'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Search Method: Auto Refine Search

Divisions along slope: 10
 Circles per division: 10
 Number of iterations: 10
 Divisions to use in next iteration: 50%
 Number of vertices per surface: 12
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	26	26	40	45
Water Surface	None	Water Table	None	None
Hu Value		1		
Ru Value	0		0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.420510
 Axis Location: 60.778, 34.969
 Left Slip Surface Endpoint: 60.335, 10.981
 Right Slip Surface Endpoint: 79.703, 20.222
 Resisting Moment=12677.2 kN-m
 Driving Moment=8924.42 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.415650
 Axis Location: 60.830, 34.945
 Left Slip Surface Endpoint: 60.381, 11.004
 Right Slip Surface Endpoint: 79.713, 20.221
 Resisting Moment=11619.2 kN-m
 Driving Moment=8207.66 kN-m
 Resisting Horizontal Force=428.928 kN
 Driving Horizontal Force=302.99 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 2813
 Number of Invalid Surfaces: 1689

Error Codes:

Error Code -105 reported for 252 surfaces
 Error Code -106 reported for 780 surfaces

Error Code -107 reported for 263 surfaces
 Error Code -108 reported for 58 surfaces
 Error Code -110 reported for 322 surfaces
 Error Code -1000 reported for 14 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2783
 Number of Invalid Surfaces: 1719

Error Codes:

Error Code -105 reported for 252 surfaces
 Error Code -106 reported for 780 surfaces
 Error Code -107 reported for 263 surfaces
 Error Code -108 reported for 87 surfaces
 Error Code -110 reported for 322 surfaces
 Error Code -111 reported for 1 surface
 Error Code -1000 reported for 14 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
- 106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 111 = safety factor equation did not converge
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.42051

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.13202	9.83003	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.36217	10.458	11.1907	0	11.1907
2	0.701831	14.7264	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.9523	15.5578	21.6467	0	21.6467
3	0.701831	19.8015	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.4879	19.1597	29.0316	0	29.0316
4	0.641092	21.8731	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.6552	20.8179	32.4315	0	32.4315
5	0.641092	24.8077	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.1672	22.9656	36.8349	0	36.8349
6	0.641092	27.7423	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.6791	25.1133	41.2384	0	41.2384
			Residuo nuevo							

SLIDEINTERPRET 6.005

			- RNP							
8	0.679832	34.2547	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.1808	27.2465	45.612	0	45.612
9	0.679832	36.4414	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.1982	28.6917	48.5753	0	48.5753
10	0.770468	43.3403	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.311	28.852	48.9037	0	48.9037
11	0.770468	44.9432	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.9464	29.7545	50.7544	0	50.7544
12	0.770468	46.5461	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.5818	30.6571	52.6049	0	52.6049
13	1.15324	71.3803	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.3347	30.3062	51.8855	0	51.8855
14	1.15324	72.4005	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.5963	30.6778	52.6473	0	52.6473
15	0.729863	45.8152	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.9071	29.6988	50.6401	0	50.6401
16	0.729863	45.1584	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.6496	29.3329	49.8897	0	49.8897
17	0.729863	44.5016	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.3919	28.9669	49.1395	0	49.1395
18	0.929282	54.7467	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.1233	27.1649	45.4449	0	45.4449
19	0.929282	51.7547	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.2332	25.9004	42.8522	0	42.8522
20	0.745752	38.6195	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.4705	23.3965	37.7185	0	37.7185
21	0.745752	35.1928	Residuo nuevo - RNP	5	26	15.2506	21.6636	34.1655	0	34.1655
22	0.569871	23.9976	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.1999	18.7506	28.1929	0	28.1929
23	0.569871	20.8259	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.7968	16.7575	24.1066	0	24.1066
24	0.785951	21.7189	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.04101	12.8429	16.0802	0	16.0802
25	0.785951	7.63659	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.76516	6.76896	3.6269	0	3.6269

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.41565

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.04156	8.29672	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.51477	10.6383	11.5602	0	11.5602
2	0.972037	20.1517	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.9611	16.9327	24.4656	0	24.4656
3	0.619339	17.1539	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.9792	19.7896	30.3232	0	30.3232
4	0.619339	19.8364	Residuo nuevo - RNP	5	26	15.8201	22.3957	35.6664	0	35.6664
5	0.859615	31.2013	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.5049	23.3652	37.6543	0	37.6543
6	0.859615	34.8167	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.08	25.5949	42.2259	0	42.2259
			Residuo nuevo							

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional 2/10 2025 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]		- RNP Residuo nuevo - RNP	8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25	0.739819 0.739819 0.643564 0.643564 0.643564 0.643564 0.789969 0.789969 0.789969 0.940342 0.940342 0.761691 0.761691 1.15642 0.564763 0.564763 0.753869 0.753869	34.2211 36.0216 32.5267 33.344 34.1613 34.9786 43.6577 44.098 44.5383 52.9476 52.286 41.3277 39.8141 55.8872 24.1974 21.3358 21.5111 7.45055	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26	18.9283 19.6076 19.1015 19.3248 19.5388 19.7456 18.9271 18.9026 18.8994 17.8818 17.6503 16.4426 16.0576 14.4358 12.4436 11.5296 8.72946 4.72289	26.7958 27.7575 27.0411 27.3572 27.6601 27.9529 26.7941 26.7595 26.7549 25.3143 24.9866 23.2769 22.732 20.4361 17.6158 16.3219 12.3579 6.68596	44.6882 46.6597 45.191 45.839 46.4602 47.0604 44.6846 44.6136 44.6041 41.6505 40.9786 37.4732 36.356 31.6487 25.8662 23.2133 15.0858 3.45673	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	44.6882 46.6597 45.191 45.839 46.4602 47.0604 44.6846 44.6136 44.6041 41.6505 40.9786 37.4732 36.356 31.6487 25.8662 23.2133 15.0858 3.45673

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
60.9013	7.30417
129.125	23.036
166.01	32.185
184.452	37.122
208.413	40.462
223.649	40.462

External Boundary

X	Y
---	---



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar

icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



0.341395	0.0659174
0.341395	-57.17
285.32	-57.17
285.32	54.5085
245.593	48.1647
243.52	45.9439
238.983	45.5838
237.039	45.4001
202.091	44.7809
155.844	43.9176
137.519	35.2216
130.341	35.7507
113.421	28.6019
102.304	28.7969
83.9613	19.8142
78.5977	20.3275
58.2578	9.91765
50.9756	9.89474
40.2903	2.91195

Material Boundary

X	Y
58.2578	9.91765
63.3152	4.91765

Material Boundary

X	Y
62.8729	4.36524
63.3152	4.91765
137.29	11.0011
145.581	19.5639
152.649	19.1447
157.376	16.579
162.517	16.9224
175.979	23.9176
183.087	23.6377
208.194	37.7735
214.784	37.193
237.039	45.4001

Material Boundary

X	Y
40.2903	2.91195
60.3132	1.16849
62.8729	4.36524
137.519	10.5182
145.781	19.0512

152.508	18.6522
157.26	16.0702
162.655	16.4305
176.091	23.4128
183.209	23.1325
208.304	37.2618
214.852	36.6851
238.983	45.5838



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10

2025



VISADO : 03202500128

Validar

icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWEBCBRR]

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

1.3. SITUACIÓN ACCIDENTAL TIPO 2


ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional
2/10 2025
 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

1.3.1. ROTURA POR LA MASA DE RESIDUO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 2 Circular - Residuo
Slide Modeler Version: 6.005
Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta
Analysis: Perfil A-A'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Impermeabilización saturado	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]		18		
Saturated Unit Weight [kN/m3]		21		
Cohesion [kPa]	0	5	15	50
Friction Angle [deg]	18	26	40	45
Water Surface	None	Water Table	None	Water Table
Hu Value		1		1
Ru Value	0		0	

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.576660
Center: 50.168, 64.191
Radius: 53.954
Left Slip Surface Endpoint: 61.049, 11.346
Right Slip Surface Endpoint: 81.230, 20.076
Resisting Moment=19302.3 kN-m
Driving Moment=12242.5 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.573900
Center: 50.168, 64.191
Radius: 53.954
Left Slip Surface Endpoint: 61.049, 11.346
Right Slip Surface Endpoint: 81.230, 20.076
Resisting Moment=19268.4 kN-m
Driving Moment=12242.5 kN-m
Resisting Horizontal Force=325.059 kN
Driving Horizontal Force=206.531 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1497
Number of Invalid Surfaces: 3310

Error Codes:

Error Code -103 reported for 447 surfaces
 Error Code -107 reported for 1 surface
 Error Code -109 reported for 1 surface
 Error Code -110 reported for 617 surfaces
 Error Code -112 reported for 153 surfaces
 Error Code -113 reported for 89 surfaces
 Error Code -1000 reported for 2002 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 1490
 Number of Invalid Surfaces: 3317

Error Codes:

Error Code -103 reported for 447 surfaces
 Error Code -107 reported for 1 surface
 Error Code -108 reported for 5 surfaces
 Error Code -109 reported for 1 surface
 Error Code -110 reported for 617 surfaces
 Error Code -112 reported for 155 surfaces
 Error Code -113 reported for 89 surfaces
 Error Code -1000 reported for 2002 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 113 = Surface intersects outside slope limits.
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slide Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.57666

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.807206	1.74698	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.60252	5.67995	1.39409	0	1.39409
2	0.807206	5.14664	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.80216	7.57137	5.27209	0	5.27209

SLIDEINTERPRET 6.005



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



3	0.807206	8.35669	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.92289	9.33839	8.89502	0	8.89502
4	0.807206	11.375	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.96489	10.9813	12.2634	0	12.2634
5	0.807206	14.1994	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.92825	12.5002	15.3776	0	15.3776
6	0.807206	16.8273	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.81302	13.8951	18.2377	0	18.2377
7	0.807206	19.2562	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.61913	15.1661	20.8436	0	20.8436
8	0.807206	21.483	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.3466	16.3131	23.1952	0	23.1952
9	0.807206	23.5048	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.9952	17.3357	25.292	0	25.292
10	0.807206	25.3183	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.5648	18.2338	27.1332	0	27.1332
11	0.807206	26.9197	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.0551	19.0068	28.7181	0	28.7181
12	0.807206	28.3054	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.4657	19.6542	30.0456	0	30.0456
13	0.807206	29.471	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.7964	20.1755	31.1143	0	31.1143
14	0.807206	30.4123	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.0464	20.5698	31.9228	0	31.9228
15	0.807206	31.1244	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.2156	20.8365	32.4695	0	32.4695
16	0.807206	31.6021	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.3031	20.9744	32.7524	0	32.7524
17	0.807206	31.84	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.3083	20.9826	32.7692	0	32.7692
18	0.807206	31.8319	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.2304	20.8599	32.5176	0	32.5176
19	0.807206	31.5716	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.0687	20.6049	31.9949	0	31.9949
20	0.807206	31.052	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.8222	20.2163	31.1981	0	31.1981
21	0.807206	30.2656	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.49	19.6925	30.1242	0	30.1242
22	0.807206	28.9627	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.9932	18.9092	28.5179	0	28.5179
23	0.807206	22.4414	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.83008	15.4987	21.5255	0	21.5255
24	0.807206	13.678	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.97972	11.0047	12.3114	0	12.3114
25	0.807206	4.61088	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.06941	6.41608	2.9034	0	2.9034

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.5739

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.807206	1.74698	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.66179	5.7633	1.56499	0	1.56499
2	0.807206	5.14664	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.97769	7.83438	5.81133	0	5.81133



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



3	0.807206	8.35669	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.21551	9.78259	9.80577	0	9.80577
4	0.807206	11.375	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.3625	11.5878	13.507	0	13.507
5	0.807206	14.1994	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.40777	13.233	16.8801	0	16.8801
6	0.807206	16.8273	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.34312	14.7051	19.8985	0	19.8985
7	0.807206	19.2562	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.1635	15.9964	22.5459	0	22.5459
8	0.807206	21.483	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.8673	17.104	24.8169	0	24.8169
9	0.807206	23.5048	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.456	18.0306	26.7167	0	26.7167
10	0.807206	25.3183	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.934	18.783	28.2595	0	28.2595
11	0.807206	26.9197	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.3082	19.3718	29.4666	0	29.4666
12	0.807206	28.3054	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.5866	19.81	30.3649	0	30.3649
13	0.807206	29.471	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.7783	20.1117	30.9836	0	30.9836
14	0.807206	30.4123	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.8925	20.2915	31.3522	0	31.3522
15	0.807206	31.1244	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.9378	20.3628	31.4985	0	31.4985
16	0.807206	31.6021	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.9219	20.3378	31.4471	0	31.4471
17	0.807206	31.84	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.8509	20.2261	31.2181	0	31.2181
18	0.807206	31.8319	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.7295	20.0349	30.8262	0	30.8262
19	0.807206	31.5716	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.5603	19.7686	30.2802	0	30.2802
20	0.807206	31.052	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.344	19.4283	29.5825	0	29.5825
21	0.807206	30.2656	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.0794	19.0117	28.7282	0	28.7282
22	0.807206	28.9627	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.6875	18.3949	27.4637	0	27.4637
23	0.807206	22.4414	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.69985	15.2666	21.0497	0	21.0497
24	0.807206	13.678	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.98675	10.9964	12.2945	0	12.2945
25	0.807206	4.61088	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.10625	6.46282	2.99923	0	2.99923

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
60.9013	7.30417
129.125	23.036

166.01	32.185
184.452	37.122
208.413	40.462
223.649	40.462

External Boundary

X	Y
0.341395	0.0659174
0.341395	-57.17
285.32	-57.17
285.32	54.5085
245.593	48.1647
243.52	45.9439
238.983	45.5838
237.039	45.4001
202.091	44.7809
155.844	43.9176
137.519	35.2216
130.341	35.7507
113.421	28.6019
102.304	28.7969
83.9613	19.8142
78.5977	20.3275
58.2578	9.91765
50.9756	9.89474
40.2903	2.91195



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10
2025

VISADO : 03202500128

validar [icog.e-gestion.es \[FV1MFR6ITWBCBRR\]](https://icog.e-gestion.es/FV1MFR6ITWBCBRR)



Material Boundary

X	Y
58.2578	9.91765
63.3152	4.91765

Material Boundary

X	Y
62.8729	4.36524
63.3152	4.91765
137.29	11.0011
145.581	19.5639
152.649	19.1447
157.376	16.579
162.517	16.9224
175.979	23.9176
183.087	23.6377
208.194	37.7735
214.784	37.193
237.039	45.4001

Material Boundary

X	Y
40.2903	2.91195
60.3132	1.16849
62.8729	4.36524
137.519	10.5182
145.781	19.0512
152.508	18.6522
157.26	16.0702
162.655	16.4305
176.091	23.4128
183.209	23.1325
208.304	37.2618
214.852	36.6851
238.983	45.5838



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]




ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
Habilitación Profesional
2/10 2025
 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

1.3.2. ROTURA CONTACTO VERTEDERO-TERRENO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 2 Circular - vertedero y terreno

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil A-A'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search

Radius Increment: 10

Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Impermeabilización saturado	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	0	5	15	50
Friction Angle [deg]	18	26	40	45
Water Surface	None	Water Table	None	Water Table
Hu Value		1		1
Ru Value	0		0	

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.628200
Center: 44.050, 209.579
Radius: 206.075
Left Slip Surface Endpoint: 41.226, 3.523
Right Slip Surface Endpoint: 166.898, 44.124
Resisting Moment=2.29517e+006 kN-m
Driving Moment=1.40964e+006 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.639190
Center: 44.050, 209.579
Radius: 206.075
Left Slip Surface Endpoint: 41.226, 3.523
Right Slip Surface Endpoint: 166.898, 44.124
Resisting Moment=2.31067e+006 kN-m
Driving Moment=1.40964e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force=10610.3 kN
Driving Horizontal Force=6472.88 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 731
Number of Invalid Surfaces: 8927

Error Codes:

Error Code -101 reported for 25 surfaces
Error Code -103 reported for 685 surfaces
Error Code -109 reported for 1 surface
Error Code -110 reported for 1530 surfaces
Error Code -112 reported for 22 surfaces
Error Code -118 reported for 86 surfaces
Error Code -1000 reported for 6578 surfaces

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar [icoge.gestion.es \[FV1MFR6ITWBCBRR\]](https://icoge.gestion.es/FV1MFR6ITWBCBRR)



Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 731

Number of Invalid Surfaces: 8927

Error Codes:

Error Code -101 reported for 25 surfaces
Error Code -103 reported for 685 surfaces
Error Code -109 reported for 1 surface
Error Code -110 reported for 1530 surfaces
Error Code -112 reported for 22 surfaces
Error Code -118 reported for 86 surfaces
Error Code -1000 reported for 6578 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 118 = Surface does not pass through the search focus
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.6282

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	5.41181	191.563	Dique	15	40	27.4628	44.715	35.4129	0	35.4129
2	5.41181	559.497	Dique	15	40	61.6774	100.423	101.803	0	101.803
3	5.41181	660.97	Dique	15	40	70.2756	114.423	118.487	0	118.487
4	5.41181	700.978	Dique	15	40	73.0199	118.891	123.812	0	123.812
5	4.21774	642.371	Impermeabilización saturado	0	18	29.7876	48.5001	149.268	0	149.268
6	4.21774	775.302	Impermeabilización saturado	0	18	35.806	58.2993	179.427	0	179.427
7	4.21774	908.292	Impermeabilización saturado	0	18	41.7772	68.0217	209.349	0	209.349
8	5.07622	1230.54	Residuo nuevo - RNP	5	26	58.3252	94.9651	232.674	48.218	184.456
9	5.07622	1169.65	Residuo nuevo - RNP	5	26	53.7928	87.5855	220.048	50.7229	169.325
10	5.07622	1241.65	Residuo nuevo - RNP	5	26	57.0448	92.8803	232.113	51.9313	180.181
11	5.07622	1360.83	Residuo nuevo - RNP	5	26	63.2027	102.907	252.561	51.8227	200.738
12	5.07622	1467.53	Residuo nuevo - RNP	5	26	68.9504	112.265	270.299	50.3737	219.926
13	5.07622	1499.67	Residuo nuevo - RNP	5	26	70.9403	115.505	274.126	47.5573	226.568

SLIDEINTERPRET 6.005

	24	5.07622	477.048	Residuo nuevo - RNP	5	26	25.9835	42.3063	76.4894	0	76.4894
	25	5.07622	162.465	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.4187	16.9637	24.5292	0	24.5292
Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.63919											
Habilitación Profesional	Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
	1	5.41181	191.563	Dique	15	40	27.9988	45.8954	36.8197	0	36.8197
	2	5.41181	559.497	Dique	15	40	65.0902	106.695	109.278	0	109.278
	3	5.41181	660.97	Dique	15	40	77.0637	126.322	132.668	0	132.668
	4	5.41181	700.978	Dique	15	40	82.7561	135.653	143.789	0	143.789
	5	4.21774	642.371	Impermeabilización saturado	0	18	32.1381	52.6804	162.133	0	162.133
	6	4.21774	775.302	Impermeabilización saturado	0	18	38.0902	62.437	192.161	0	192.161
7	4.21774	908.292	Impermeabilización saturado	0	18	43.8614	71.8971	221.277	0	221.277	
2/10 2025	8	5.07622	1230.54	Residuo nuevo - RNP	5	26	62.042	101.699	246.48	48.218	198.262
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]	9	5.07622	1169.65	Residuo nuevo - RNP	5	26	56.5715	92.7314	230.599	50.7229	179.876
	10	5.07622	1241.65	Residuo nuevo - RNP	5	26	58.8926	96.5362	239.607	51.9313	187.676
	11	5.07622	1360.83	Residuo nuevo - RNP	5	26	63.9951	104.9	256.649	51.8227	204.826
	12	5.07622	1467.53	Residuo nuevo - RNP	5	26	68.5509	112.368	270.51	50.3737	220.137
	13	5.07622	1499.67	Residuo nuevo - RNP	5	26	69.3257	113.638	270.298	47.5573	222.741
	14	5.07622	1354.23	Residuo nuevo - RNP	5	26	61.154	100.243	238.62	43.343	195.277
	15	5.07622	1215.74	Residuo nuevo - RNP	5	26	54.1479	88.7587	209.427	37.6961	171.731
	16	5.07622	1216.37	Residuo nuevo - RNP	5	26	55.0568	90.2486	205.364	30.5776	174.786
	17	5.07622	1224.96	Residuo nuevo - RNP	5	26	56.9558	93.3614	203.112	21.9434	181.168
	18	5.07622	1214.29	Residuo nuevo - RNP	5	26	58.4854	95.8687	198.053	11.7437	186.309
	19	5.07622	1036.4	Residuo nuevo - RNP	5	26	52.1723	85.5203	165.831	0.740354	165.091
	20	5.07622	848.32	Residuo nuevo - RNP	5	26	42.7777	70.1207	133.517	0	133.517
	21	5.07622	813.574	Residuo nuevo - RNP	5	26	40.8881	67.0233	127.167	0	127.167
	22	5.07622	767.453	Residuo nuevo - RNP	5	26	38.6548	63.3626	119.661	0	119.661
	23	5.07622	700.026	Residuo nuevo - RNP	5	26	35.5836	58.3282	109.339	0	109.339
	24	5.07622	477.048	Residuo nuevo - RNP	5	26	25.1763	41.2687	74.3617	0	74.3617
	25	5.07622	162.465	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.2849	16.8589	24.3143	0	24.3143

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
60.9013	7.30417

SLIDEINTERPRET 6.005

129.125	23.036
166.01	32.185
184.452	37.122
208.413	40.462
223.649	40.462

Focus Search Line

X	Y
40.2903	2.91195
62.8729	4.36524

External Boundary

X	Y
0.341395	0.0659174
0.341395	-57.17
285.32	-57.17
285.32	54.5085
245.593	48.1647
243.52	45.9439
238.983	45.5838
237.039	45.4001
202.091	44.7809
155.844	43.9176
137.519	35.2216
130.341	35.7507
113.421	28.6019
102.304	28.7969
83.9613	19.8142
78.5977	20.3275
58.2578	9.91765
50.9756	9.89474
40.2903	2.91195

Material Boundary

X	Y
58.2578	9.91765
63.3152	4.91765

Material Boundary

X	Y
62.8729	4.36524
63.3152	4.91765
137.29	11.0011
145.581	19.5639
152.649	19.1447
157.376	16.579
162.517	16.9224
175.979	23.9176
183.087	23.6377



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



208.194	37.7735
214.784	37.193
237.039	45.4001

Material Boundary

X	Y
40.2903	2.91195
60.3132	1.16849
62.8729	4.36524
137.519	10.5182
145.781	19.0512
152.508	18.6522
157.26	16.0702
162.655	16.4305
176.091	23.4128
183.209	23.1325
208.304	37.2618
214.852	36.6851
238.983	45.5838



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10

2025



VISADO : 03202500128

validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
	Habilitación Profesional Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

1.3.3. ESTABILIDAD CONJUNTA DEL VERTEDERO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 2 Circular - global
Slide Modeler Version: 6.005
Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta
Analysis: Perfil A-A'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Impermeabilización saturado	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	0	5	15	50
Friction Angle [deg]	18	26	40	45
Water Surface	None	Water Table	None	Water Table
Hu Value		1		1
Ru Value	0		0	

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.558470
Center: 65.845, 155.212
Radius: 149.988
Left Slip Surface Endpoint: 45.873, 6.560
Right Slip Surface Endpoint: 166.615, 44.119
Resisting Moment=1.67758e+006 kN-m
Driving Moment=1.07643e+006 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.563720
Center: 65.845, 155.212
Radius: 149.988
Left Slip Surface Endpoint: 45.873, 6.560
Right Slip Surface Endpoint: 166.615, 44.119
Resisting Moment=1.68323e+006 kN-m
Driving Moment=1.07643e+006 kN-m
Resisting Horizontal Force=10520.8 kN
Driving Horizontal Force=6728.06 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 799
Number of Invalid Surfaces: 4008

Error Codes:

Error Code -103 reported for 1034 surfaces
Error Code -106 reported for 20 surfaces
Error Code -110 reported for 1886 surfaces
Error Code -112 reported for 67 surfaces
Error Code -1000 reported for 1001 surfaces

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar [coog.e-gestion.es \[FV1MFR6ITWBCBRR\]](https://coog.e-gestion.es/FV1MFR6ITWBCBRR)



Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 796

Number of Invalid Surfaces: 4011

Error Codes:

Error Code -103 reported for 1034 surfaces
Error Code -106 reported for 20 surfaces
Error Code -108 reported for 1 surface
Error Code -110 reported for 1886 surfaces
Error Code -112 reported for 69 surfaces
Error Code -1000 reported for 1001 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.

-106 = Average slice width is less than $0.0001 \times$ (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.

-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1 . This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).

-110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.

-112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.

-1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.55847

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	4.27598	141.384	Dique	15	40	29.3145	45.6858	36.57	0	36.57
2	4.27598	341.467	Dique	15	40	55.3203	86.215	84.8708	0	84.8708
3	4.27598	375.7	Dique	15	40	58.8946	91.7854	91.5092	0	91.5092
4	4.27598	472.751	Dique	15	40	70.4158	109.741	112.908	0	112.908
5	4.13566	606.718	Residuo nuevo - RNP	5	26	39.9192	62.2129	146.917	29.6131	117.304
6	5.49612	1033.06	Impermeabilización saturado	0	18	38.9703	60.734	186.919	0	186.919
7	5.49612	1272.22	Impermeabilización saturado	0	18	47.6297	74.2294	228.455	0	228.455
8	5.49612	1368.95	Impermeabilización saturado	0	18	50.8639	79.2699	243.968	0	243.968
9	5.49612	1406.9	Impermeabilización saturado	0	18	51.8781	80.8504	248.833	0	248.833
10	4.84486	1400.28	Residuo nuevo - RNP	5	26	68.727	107.109	277.1	67.745	209.355
11	4.84486	1526.57	Residuo nuevo - RNP	5	26	75.1449	117.111	299.498	69.6358	229.862
12	4.84486	1630.26	Residuo nuevo - RNP	5	26	80.5373	125.515	316.982	69.8894	247.092
13	4.84486	1569.26	Residuo nuevo - RNP	5	26	76.4955	119.216	302.647	68.4688	234.178
14	4.84486	1436.52	Residuo nuevo - RNP	5	26	68.7854	107.2	274.871	65.3296	209.541
15	4.84486	1377.22	Residuo nuevo - RNP	5	26	65.9869	102.839	261.019	60.4192	200.6

SLIDEINTERPRET 6.005

16	4.84486	1398.31	Residuo nuevo - RNP	5	26	68.3594	106.536	261.857	53.676	208.181
17	4.84486	1402.51	Residuo nuevo - RNP	5	26	70.2131	109.425	259.13	45.0279	214.102
18	4.84486	1364.16	Residuo nuevo - RNP	5	26	70.0828	109.222	248.275	34.5878	213.687
19	4.84486	1150.05	Residuo nuevo - RNP	5	26	60.5416	94.3523	205.89	22.6912	183.199
20	4.84486	1005.84	Residuo nuevo - RNP	5	26	55.6125	86.6704	176.039	8.58979	167.449
21	4.84486	955.359	Residuo nuevo - RNP	5	26	54.3926	84.7693	163.551	0	163.551
22	4.84486	882.612	Residuo nuevo - RNP	5	26	49.7449	77.5259	148.7	0	148.7
23	4.84486	781.069	Residuo nuevo - RNP	5	26	43.6612	68.0447	129.261	0	129.261
24	4.84486	523.737	Residuo nuevo - RNP	5	26	29.6503	46.2091	84.4911	0	84.4911
25	4.84486	179.596	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.6474	18.1522	26.966	0	26.966



Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.56372

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	4.27598	141.384	Dique	15	40	29.9964	46.906	38.0241	0	38.0241
2	4.27598	341.467	Dique	15	40	58.861	92.0421	91.8152	0	91.8152
3	4.27598	375.7	Dique	15	40	65.4645	102.368	104.121	0	104.121
4	4.27598	472.751	Dique	15	40	80.6896	126.176	132.494	0	132.494
5	4.13566	606.718	Residuo nuevo - RNP	5	26	45.2456	70.7515	164.424	29.6131	134.811
6	5.49612	1033.06	Impermeabilización saturado	0	18	42.5769	66.5784	204.908	0	204.908
7	5.49612	1272.22	Impermeabilización saturado	0	18	51.4365	80.4323	247.545	0	247.545
8	5.49612	1368.95	Impermeabilización saturado	0	18	54.3245	84.9483	261.444	0	261.444
9	5.49612	1406.9	Impermeabilización saturado	0	18	54.5912	85.3654	262.727	0	262.727
10	4.84486	1400.28	Residuo nuevo - RNP	5	26	72.6978	113.679	290.571	67.745	222.826
11	4.84486	1526.57	Residuo nuevo - RNP	5	26	77.6929	121.49	308.474	69.6358	238.839
12	4.84486	1630.26	Residuo nuevo - RNP	5	26	81.3803	127.256	320.55	69.8894	250.661
13	4.84486	1569.26	Residuo nuevo - RNP	5	26	75.4438	117.973	300.098	68.4688	231.629
14	4.84486	1436.52	Residuo nuevo - RNP	5	26	66.1003	103.362	267.002	65.3296	201.672
15	4.84486	1377.22	Residuo nuevo - RNP	5	26	62.0265	96.9921	249.031	60.4192	188.611
16	4.84486	1398.31	Residuo nuevo - RNP	5	26	63.3788	99.1067	246.623	53.676	192.947
17	4.84486	1402.51	Residuo nuevo - RNP	5	26	64.5674	100.965	241.786	45.0279	196.758
18	4.84486	1364.16	Residuo nuevo - RNP	5	26	64.2291	100.436	230.261	34.5878	195.673
19	4.84486	1150.05	Residuo nuevo - RNP	5	26	55.2874	86.454	189.697	22.6912	167.006
20	4.84486	1005.84	Residuo nuevo - RNP	5	26	51.094	79.8967	162.151	8.58979	153.561
21	4.84486	955.359	Residuo nuevo - RNP	5	26	50.4499	78.8895	151.496	0	151.496
22	4.84486	882.612	Residuo nuevo - RNP	5	26	46.5216	72.7468	138.901	0	138.901
23	4.84486	781.069	Residuo nuevo - RNP	5	26	41.418	64.7662	122.539	0	122.539
24	4.84486	523.737	Residuo nuevo - RNP	5	26	28.6517	44.8033	81.609	0	81.609
25	4.84486	179.596	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.5148	18.006	26.6663	0	26.6663

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6tWBCBRR]



List Of Coordinates

Water Table

X	Y
60.9013	7.30417
129.125	23.036

SLIDEINTERPRET 6.005

166.01	32.185
184.452	37.122
208.413	40.462
223.649	40.462

External Boundary

X	Y
0.341395	0.0659174
0.341395	-57.17
285.32	-57.17
285.32	54.5085
245.593	48.1647
243.52	45.9439
238.983	45.5838
237.039	45.4001
202.091	44.7809
155.844	43.9176
137.519	35.2216
130.341	35.7507
113.421	28.6019
102.304	28.7969
83.9613	19.8142
78.5977	20.3275
58.2578	9.91765
50.9756	9.89474
40.2903	2.91195



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10
2025

Material Boundary

X	Y
58.2578	9.91765
63.3152	4.91765

Material Boundary

X	Y
62.8729	4.36524
63.3152	4.91765
137.29	11.0011
145.581	19.5639
152.649	19.1447
157.376	16.579
162.517	16.9224
175.979	23.9176
183.087	23.6377
208.194	37.7735
214.784	37.193
237.039	45.4001

VISADO : 03202500128

Validar [icog.e-gestion.es \[FV1MFR6ITWBCBRR\]](https://icog.e-gestion.es/FV1MFR6ITWBCBRR)



Material Boundary

X	Y
---	---



VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWBCBRR]

2/10
2025

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación
Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez



40.2903	2.91195
60.3132	1.16849
62.8729	4.36524
137.519	10.5182
145.781	19.0512
152.508	18.6522
157.26	16.0702
162.655	16.4305
176.091	23.4128
183.209	23.1325
208.304	37.2618
214.852	36.6851
238.983	45.5838

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS	
	Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez	
Habilitación Profesional		
2/10 2025		
 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]		

1.3.4. ROTURA POLIGONAL

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 2 - Poligonal
Slide Modeler Version: 6.005
Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta
Analysis: Perfil A-A'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 10
Circles per division: 10
Number of iterations: 10

Divisions to use in next iteration: 50%
Number of vertices per surface: 12
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Impermeabilización saturado	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	0	5	15	50
Friction Angle [deg]	18	26	40	45
Water Surface	None	Water Table	None	Water Table
Hu Value		1		1
Ru Value	0		0	

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.417920
Axis Location: 70.621, 100.934
Left Slip Surface Endpoint: 56.956, 9.914
Right Slip Surface Endpoint: 135.238, 35.390
Resisting Moment=640964 kN-m
Driving Moment=452045 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.443310
Axis Location: 70.621, 100.934
Left Slip Surface Endpoint: 56.956, 9.914
Right Slip Surface Endpoint: 135.238, 35.390
Resisting Moment=635027 kN-m
Driving Moment=439981 kN-m
Resisting Horizontal Force=6067.14 kN
Driving Horizontal Force=4203.64 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 2522
Number of Invalid Surfaces: 1980

Error Codes:

Error Code -105 reported for 601 surfaces
Error Code -106 reported for 356 surfaces
Error Code -107 reported for 98 surfaces
Error Code -108 reported for 280 surfaces
Error Code -110 reported for 630 surfaces
Error Code -1000 reported for 15 surfaces

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2466
Number of Invalid Surfaces: 2036

Error Codes:

Error Code -105 reported for 601 surfaces
Error Code -106 reported for 356 surfaces
Error Code -107 reported for 98 surfaces
Error Code -108 reported for 336 surfaces
Error Code -110 reported for 630 surfaces
Error Code -1000 reported for 15 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
- 106 = Average slice width is less than $0.0001 \times$ (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1 . This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

2/10
2025

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.41792

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	2.69476	44.1831	Dique	15	40	29.0363	41.1711	31.1895	0	31.1895
2	2.50127	151.598	Residuo nuevo - RNP	5	26	29.5536	41.9047	75.6658	0	75.6658
3	2.50127	266.609	Residuo nuevo - RNP	5	26	43.6089	61.8339	128.808	12.281	116.527
4	2.2141	324.986	Residuo nuevo - RNP	5	26	50.61	71.761	164.561	27.6807	136.881
5	3.85671	695.135	Impermeabilización saturado	0	18	41.8026	59.2728	182.423	0	182.423
6	3.44001	721.524	Impermeabilización saturado	0	18	47.1725	66.8869	205.857	0	205.857
7	3.44001	813.012	Impermeabilización saturado	0	18	53.1539	75.368	231.959	0	231.959
8	3.44001	871.78	Impermeabilización saturado	0	18	56.9961	80.8159	248.726	0	248.726
9	3.44001	840.706	Impermeabilización saturado	0	18	54.9645	77.9353	239.86	0	239.86
10	3.44001	882.652	Impermeabilización saturado	0	18	57.707	81.8239	251.828	0	251.828
11	2.46264	685.14	Impermeabilización saturado	0	18	62.5354	88.6702	272.899	0	272.899
12	2.46264	729.539	Impermeabilización saturado	0	18	66.588	94.4164	290.584	0	290.584
13	2.65432	834.428	Impermeabilización saturado	0	18	69.2366	98.1719	302.142	0	302.142

SLIDEINTERPRET 6.005

14	2.65432	882.782	Impermeabilización saturado	0	18	73.2488	103.861	319.651	0	319.651
15	3.82073	1304.43	Residuo nuevo - RNP	5	26	81.403	115.423	300.962	74.5626	226.4
16	3.82073	1246.76	Residuo nuevo - RNP	5	26	79.9008	113.293	286.615	64.5826	222.033
17	3.82073	1112.08	Residuo nuevo - RNP	5	26	72.4771	102.767	255.054	54.6026	200.452
18	3.82073	976.916	Residuo nuevo - RNP	5	26	65.0164	92.188	223.384	44.6227	178.762
19	5.34197	1243.72	Residuo nuevo - RNP	5	26	61.4344	87.1091	200.043	31.6947	168.348
20	2.3699	523.249	Residuo nuevo - RNP	5	26	58.5062	82.9571	177.715	17.8787	159.836
21	2.3699	491.529	Residuo nuevo - RNP	5	26	58.0592	82.3233	164.659	6.12278	158.536
22	2.67097	499.79	Residuo nuevo - RNP	5	26	50.6708	71.8471	137.057	0	137.057
23	2.67097	427.172	Residuo nuevo - RNP	5	26	43.6909	61.9502	116.765	0	116.765
24	3.18668	371.532	Residuo nuevo - RNP	5	26	30.0284	42.5779	77.0461	0	77.0461
25	3.18668	127.09	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.8686	16.8287	24.2525	0	24.2525

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.44331

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [EV1MFR6ITWBCBRR]



Order Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	2.69476	44.1831	Dique	15	40	29.7254	42.9029	33.2534	0	33.2534
2	2.50127	151.598	Residuo nuevo - RNP	5	26	31.7551	45.8325	83.719	0	83.719
3	2.50127	266.609	Residuo nuevo - RNP	5	26	49.6595	71.674	148.983	12.281	136.702
4	2.2141	324.986	Residuo nuevo - RNP	5	26	59.0657	85.2501	192.218	27.6807	164.537
5	3.85671	695.135	Impermeabilización saturado	0	18	45.8577	66.1869	203.702	0	203.702
6	3.44001	721.524	Impermeabilización saturado	0	18	50.6489	73.1021	224.985	0	224.985
7	3.44001	813.012	Impermeabilización saturado	0	18	56.9326	82.1714	252.898	0	252.898
8	3.44001	871.78	Impermeabilización saturado	0	18	60.9544	87.9761	270.763	0	270.763
9	3.44001	840.706	Impermeabilización saturado	0	18	58.8102	84.8814	261.238	0	261.238
10	3.44001	882.652	Impermeabilización saturado	0	18	61.3655	88.5694	272.589	0	272.589
11	2.46264	685.14	Impermeabilización saturado	0	18	65.9102	95.1289	292.776	0	292.776
12	2.46264	729.539	Impermeabilización saturado	0	18	69.6676	100.552	309.467	0	309.467
13	2.65432	834.428	Impermeabilización saturado	0	18	69.6171	100.479	309.241	0	309.241
14	2.65432	882.782	Impermeabilización saturado	0	18	72.9912	105.349	324.229	0	324.229
15	3.82073	1304.43	Residuo nuevo - RNP	5	26	72.5759	104.75	279.079	74.5626	204.517
16	3.82073	1246.76	Residuo nuevo - RNP	5	26	71.0267	102.514	264.514	64.5826	199.932
17	3.82073	1112.08	Residuo nuevo - RNP	5	26	64.2193	92.6884	234.39	54.6026	179.788
18	3.82073	976.916	Residuo nuevo - RNP	5	26	57.5878	83.117	204.786	44.6227	160.164
19	5.34197	1243.72	Residuo nuevo - RNP	5	26	54.6043	78.8109	183.03	31.6947	151.335
20	2.3699	523.249	Residuo nuevo - RNP	5	26	51.5092	74.3437	160.054	17.8787	142.176
21	2.3699	491.529	Residuo nuevo - RNP	5	26	52.2218	75.3723	150.407	6.12278	144.285
22	2.67097	499.79	Residuo nuevo - RNP	5	26	45.5297	65.7134	124.481	0	124.481
23	2.67097	427.172	Residuo nuevo - RNP	5	26	40.142	57.9373	108.537	0	108.537
24	3.18668	371.532	Residuo nuevo - RNP	5	26	28.0985	40.5549	72.8984	0	72.8984
25	3.18668	127.09	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.5225	16.6305	23.8462	0	23.8462

Water Table

X	Y
60.9013	7.30417
129.125	23.036
166.01	32.185
184.452	37.122
208.413	40.462
223.649	40.462

External Boundary

X	Y
0.341395	0.0659174
0.341395	-57.17
285.32	-57.17
285.32	54.5085
245.593	48.1647
243.52	45.9439
238.983	45.5838
237.039	45.4001
202.091	44.7809
155.844	43.9176
137.519	35.2216
130.341	35.7507
113.421	28.6019
102.304	28.7969
83.9613	19.8142
78.5977	20.3275
58.2578	9.91765
50.9756	9.89474
40.2903	2.91195

Material Boundary

X	Y
58.2578	9.91765
63.3152	4.91765

Material Boundary

X	Y
62.8729	4.36524
63.3152	4.91765
137.29	11.0011
145.581	19.5639
152.649	19.1447
157.376	16.579
162.517	16.9224
175.979	23.9176

SLIDEINTERPRET 6.005

183.087	23.6377
208.194	37.7735
214.784	37.193
237.039	45.4001

Material Boundary

X	Y
40.2903	2.91195
60.3132	1.16849
62.8729	4.36524
137.519	10.5182
145.781	19.0512
152.508	18.6522
157.26	16.0702
162.655	16.4305
176.091	23.4128
183.209	23.1325
208.304	37.2618
214.852	36.6851
238.983	45.5838



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWBCBRR]



	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

2. PERFIL B-B´

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

2.1. SITUACIÓN NORMAL

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional	2/10 2025	 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]
--	--------------	--

2.1.1. ROTURA POR LA MASA DE RESIDUO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Circular - Residuo

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil B-B'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search

Radius Increment: 10

Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack

Minimum Elevation: Not Defined

Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Residuo nuevo - IN	Dique	Sustrato rocoso
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	7	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	27	40	45
Water Surface	None	None	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 2.175120
Center: 112.434, 49.781
Radius: 34.118
Left Slip Surface Endpoint: 102.349, 17.187
Right Slip Surface Endpoint: 137.275, 26.393
Resisting Moment=49934.3 kN-m
Driving Moment=22957.1 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 2.161440
Center: 112.434, 49.781
Radius: 34.118
Left Slip Surface Endpoint: 102.349, 17.187
Right Slip Surface Endpoint: 137.275, 26.393
Resisting Moment=49620.4 kN-m
Driving Moment=22957.1 kN-m
Resisting Horizontal Force=1359.63 kN
Driving Horizontal Force=629.036 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1843
Number of Invalid Surfaces: 3217

Error Codes:

Error Code -103 reported for 296 surfaces
Error Code -106 reported for 30 surfaces
Error Code -107 reported for 477 surfaces
Error Code -108 reported for 43 surfaces
Error Code -112 reported for 176 surfaces
Error Code -113 reported for 61 surfaces
Error Code -1000 reported for 2134 surfaces

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 1804
Number of Invalid Surfaces: 3256

Error Codes:

Error Code -103 reported for 296 surfaces
Error Code -106 reported for 30 surfaces
Error Code -107 reported for 477 surfaces
Error Code -108 reported for 79 surfaces
Error Code -112 reported for 179 surfaces
Error Code -113 reported for 61 surfaces
Error Code -1000 reported for 2134 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
-106 = Average slice width is less than $0.0001 \times$ (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
-107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1 . This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
-112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
-113 = Surface intersects outside slope limits.
-1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 2.17512

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.601292	0.565275	Impermeabilización	5	26	2.69008	5.85124	1.74529	0	1.74529
2	1.40681	10.6206	Residuo antiguo	14	20	8.05886	17.529	9.69583	0	9.69583
3	1.40681	29.3462	Residuo antiguo	14	20	10.3089	22.423	23.1421	0	23.1421
4	1.40681	46.9532	Residuo antiguo	14	20	12.3896	26.9488	35.5765	0	35.5765
5	1.40681	63.1906	Residuo antiguo	14	20	14.2748	31.0494	46.8429	0	46.8429
6	1.40681	78.0849	Residuo antiguo	14	20	15.9724	34.7418	56.9875	0	56.9875
7	1.40681	91.6551	Residuo antiguo	14	20	17.4884	38.0393	66.0474	0	66.0474
8	1.40681	103.913	Residuo antiguo	14	20	18.8278	40.9527	74.0517	0	74.0517
9	1.40681	114.864	Residuo antiguo	14	20	19.9943	43.4899	81.0224	0	81.0224
10	1.40681	124.506	Residuo antiguo	14	20	20.9904	45.6566	86.9761	0	86.9761
11	1.40681	132.83	Residuo antiguo	14	20	21.8179	47.4566	91.9213	0	91.9213
12	1.40681	139.821	Residuo antiguo	14	20	22.4774	48.8911	95.8622	0	95.8622
13	1.40681	145.456	Residuo antiguo	14	20	22.9687	49.9596	98.7983	0	98.7983
14	1.40681	149.693	Residuo antiguo	14	20	23.289	50.6564	100.713	0	100.713
15	0.711125	78.8249	Impermeabilización	5	26	25.5568	55.5892	103.723	0	103.723
16	1.53254	175.807	Residuo nuevo - RNP	5	26	26.1672	56.9167	106.445	0	106.445
			Residuo nuevo -							



			RNP							
18	1.53254	171.239	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.9728	54.3189	101.119	0	101.119
19	1.53254	165.359	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.8959	51.9765	96.3162	0	96.3162
20	1.53254	156.865	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.4834	48.9042	90.0167	0	90.0167
21	1.53254	142.778	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.3645	44.2953	80.5673	0	80.5673
22	1.53254	118.031	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.9281	36.8207	65.2419	0	65.2419
23	1.53254	89.3995	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.085	28.4614	48.103	0	48.103
24	1.53254	56.8536	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.86627	19.2852	29.289	0	29.289
25	1.53254	19.7681	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.24289	9.22879	8.67029	0	8.67029

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 2.16144

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.601292	0.565275	Impermeabilización	5	26	2.72119	5.88168	1.80772	0	1.80772
2	1.40681	10.6206	Residuo antiguo	14	20	8.22676	17.7816	10.39	0	10.39
3	1.40681	29.3462	Residuo antiguo	14	20	10.7172	23.1646	25.1796	0	25.1796
4	1.40681	46.9532	Residuo antiguo	14	20	13.0894	28.2919	39.2667	0	39.2667
5	1.40681	63.1906	Residuo antiguo	14	20	15.265	32.9944	52.1868	0	52.1868
6	1.40681	78.0849	Residuo antiguo	14	20	17.2078	37.1936	63.7238	0	63.7238
7	1.40681	91.6551	Residuo antiguo	14	20	18.8902	40.83	73.7148	0	73.7148
8	1.40681	103.913	Residuo antiguo	14	20	20.2958	43.8682	82.0624	0	82.0624
9	1.40681	114.864	Residuo antiguo	14	20	21.4197	46.2975	88.7368	0	88.7368
10	1.40681	124.506	Residuo antiguo	14	20	22.268	48.1309	93.7743	0	93.7743
11	1.40681	132.83	Residuo antiguo	14	20	22.8559	49.4017	97.2652	0	97.2652
12	1.40681	139.821	Residuo antiguo	14	20	23.2057	50.1578	99.3425	0	99.3425
13	1.40681	145.456	Residuo antiguo	14	20	23.3438	50.4562	100.162	0	100.162
14	1.40681	149.693	Residuo antiguo	14	20	23.2964	50.3538	99.8808	0	99.8808
15	0.711125	78.8249	Impermeabilización	5	26	25.2628	54.604	101.703	0	101.703
16	1.53254	175.807	Residuo nuevo - RNP	5	26	25.5008	55.1185	102.758	0	102.758
17	1.53254	174.676	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.6386	53.2548	98.9373	0	98.9373
18	1.53254	171.239	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.5853	50.9783	94.2693	0	94.2693
19	1.53254	165.359	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.3549	48.3188	88.8166	0	88.8166
20	1.53254	156.865	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.9458	45.2731	82.5721	0	82.5721
21	1.53254	142.778	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.0017	41.0711	73.9568	0	73.9568
22	1.53254	118.031	Residuo nuevo - RNP	5	26	15.9114	34.3916	60.262	0	60.262
23	1.53254	89.3995	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.4746	26.963	45.0309	0	45.0309
24	1.53254	56.8536	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.63258	18.6588	28.0046	0	28.0046
			Residuo nuevo -							

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
103.321	17.5036
101.826	17.0163
84.9933	16.7449
66.796	9.74486
58.4609	9.28899
53.5944	7.07811
44.6631	7.62944
32.7062	3.10231
20.3063	2.74547
15.4931	1.74486
3.0583	0.236728
-0.0625509	0.196858
-0.055586	-3.7436
-0.0625509	-58.8284
329.578	-58.8284
329.578	42.3045
292.582	33.7449
285.963	34.7431
281.786	36.6257
249.937	36.6095
239.937	35.7408
228.473	34.7449
223.251	32.7449
215.722	32.4758
214.661	32.4379
192.922	31.6609
176.834	28.8303
159.22	27.7449
130.046	25.9471



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martinez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Material Boundary

X	Y
135.655	-0.890104
143.001	5.70136

Material Boundary

X	Y
-0.055586	-3.7436
135.655	-0.890104

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463

181.638	6.74486
215.445	22.7449
218.523	23.6177
228.751	23.7449
232.702	19.7449
266.47	20.7449
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
228.473	34.7449
249.937	36.6095

Material Boundary

X	Y
218.45	24.1168
228.957	24.2475
232.905	20.2511
266.303	21.2401
285.145	34.7708
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
101.826	17.0163
121.171	16.852
143.001	5.70136
153.461	5.66005

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
164.051	7.74493
157.721	7.74486
153.461	5.66005
164.012	4.36557
165.764	6.74463

Material Boundary

X	Y
215.722	32.4758
202.384	24.7318
218.45	24.1168
216.896	23.6759

Material Boundary

X	Y
103.321	17.5036

SLIDEINTERPRET 6.005

121.294	17.351
143.122	6.20088
153.347	6.1605
157.605	8.24486
164.187	8.24493
165.879	7.24486
181.526	7.24486
215.269	23.2146
216.896	23.6759
200.641	24.2981
214.661	32.4379



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10

2025



VISADO : 03202500128

Validar

icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]


ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
Habilitación Profesional
2/10 2025
 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWEBCBRR]

2.1.2. ROTURA CONTACTO VERTEDERO-TERRENO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Circular - vertedero y terreno
Slide Modeler Version: 6.005
Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta
Analysis: Perfil B-B'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Residuo nuevo - IN	Dique	Sustrato rocoso
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	7	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	27	40	45
Water Surface	None	None	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 2.287080
Center: 58.148, 140.288
Radius: 141.864
Left Slip Surface Endpoint: 23.086, 2.825
Right Slip Surface Endpoint: 143.215, 26.759
Resisting Moment=1.19703e+006 kN-m
Driving Moment=523388 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 2.288870
Center: 58.148, 140.288
Radius: 141.864
Left Slip Surface Endpoint: 23.086, 2.825
Right Slip Surface Endpoint: 143.215, 26.759
Resisting Moment=1.19797e+006 kN-m
Driving Moment=523388 kN-m
Resisting Horizontal Force=8072.86 kN
Driving Horizontal Force=3527.01 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1760
Number of Invalid Surfaces: 3300

Error Codes:

Error Code -101 reported for 10 surfaces
Error Code -103 reported for 537 surfaces
Error Code -109 reported for 1 surface
Error Code -112 reported for 92 surfaces
Error Code -118 reported for 86 surfaces
Error Code -1000 reported for 2574 surfaces

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
Habilitación Profesional
2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icoge-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 1759

Number of Invalid Surfaces: 3301

Error Codes:

Error Code -101 reported for 10 surfaces
Error Code -103 reported for 537 surfaces
Error Code -108 reported for 1 surface
Error Code -109 reported for 1 surface
Error Code -112 reported for 92 surfaces
Error Code -118 reported for 86 surfaces
Error Code -1000 reported for 2574 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
- 112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 118 = Surface does not pass through the search focus
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 2.28708

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	5.08292	54.6347	Residuo antiguo	14	20	8.13638	18.6086	12.6619	0	12.6619
2	5.08292	156.802	Residuo antiguo	14	20	11.3874	26.0438	33.0902	0	33.0902
3	5.08292	329.43	Residuo antiguo	14	20	16.8631	38.5672	67.4979	0	67.4979
4	5.08292	544.29	Residuo antiguo	14	20	23.623	54.0278	109.975	0	109.975
5	5.08292	692.119	Residuo antiguo	14	20	28.1771	64.4433	138.592	0	138.592
6	5.08292	700.264	Residuo antiguo	14	20	28.2713	64.6588	139.184	0	139.184
7	5.08292	794.12	Residuo antiguo	14	20	31.0549	71.0251	156.675	0	156.675
8	5.08292	891.278	Residuo antiguo	14	20	33.9103	77.5555	174.617	0	174.617
9	5.08292	908.485	Residuo antiguo	14	20	34.2524	78.3379	176.767	0	176.767
10	5.08292	1011.75	Residuo antiguo	14	20	37.2443	85.1807	195.567	0	195.567
11	5.08292	1124.51	Residuo antiguo	14	20	40.4914	92.607	215.97	0	215.97
12	5.08292	1222.06	Residuo antiguo	14	20	43.2346	98.8809	233.207	0	233.207
13	5.08292	1252.88	Residuo antiguo	14	20	43.9183	100.445	237.504	0	237.504
14	5.08292	1169.32	Residuo antiguo	14	20	41.1404	94.0913	220.049	0	220.049
15	5.08292	1067.14	Residuo antiguo	14	20	37.8309	86.5224	199.253	0	199.253
16	5.08292	955.071	Residuo antiguo	14	20	34.2601	78.3557	176.816	0	176.816

17	5.08292	922.54	Residuo antiguo	14	20	33.0794	75.6552	169.396	0	169.396
18	5.08292	909.264	Residuo antiguo	14	20	32.4708	74.2634	165.572	0	165.572
19	5.08292	877.244	Residuo antiguo	14	20	31.3129	71.6151	158.296	0	158.296
20	5.08292	829.106	Residuo antiguo	14	20	29.6923	67.9086	148.113	0	148.113
21	0.537165	86.8615	Impermeabilización	5	26	32.9246	75.3011	144.139	0	144.139
22	4.4835	692.333	Residuo nuevo - RNP	5	26	31.3716	71.7493	136.856	0	136.856
23	4.4835	554.439	Residuo nuevo - RNP	5	26	25.2758	57.8078	108.272	0	108.272
24	4.4835	346.701	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.3681	37.4352	66.5019	0	66.5019
25	4.4835	118.99	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.80396	15.5612	21.6537	0	21.6537

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 2.28887

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	5.08292	54.6347	Residuo antiguo	14	20	8.19248	18.7515	13.0547	0	13.0547
2	5.08292	156.802	Residuo antiguo	14	20	11.6405	26.6436	34.738	0	34.738
3	5.08292	329.43	Residuo antiguo	14	20	17.4645	39.974	71.3629	0	71.3629
4	5.08292	544.29	Residuo antiguo	14	20	24.6976	56.5296	116.849	0	116.849
5	5.08292	692.119	Residuo antiguo	14	20	29.6528	67.8714	148.01	0	148.01
6	5.08292	700.264	Residuo antiguo	14	20	29.8883	68.4105	149.492	0	149.492
7	5.08292	794.12	Residuo antiguo	14	20	32.777	75.0224	167.658	0	167.658
8	5.08292	891.278	Residuo antiguo	14	20	35.5983	81.4799	185.4	0	185.4
9	5.08292	908.485	Residuo antiguo	14	20	35.6991	81.7107	186.034	0	186.034
10	5.08292	1011.75	Residuo antiguo	14	20	38.3863	87.8612	202.932	0	202.932
11	5.08292	1124.51	Residuo antiguo	14	20	41.2087	94.3213	220.682	0	220.682
12	5.08292	1222.06	Residuo antiguo	14	20	43.429	99.4033	234.643	0	234.643
13	5.08292	1252.88	Residuo antiguo	14	20	43.5593	99.7016	235.463	0	235.463
14	5.08292	1169.32	Residuo antiguo	14	20	40.3185	92.2838	215.082	0	215.082
15	5.08292	1067.14	Residuo antiguo	14	20	36.6665	83.9248	192.117	0	192.117
16	5.08292	955.071	Residuo antiguo	14	20	32.8865	75.2729	168.346	0	168.346
17	5.08292	922.54	Residuo antiguo	14	20	31.5323	72.1734	159.83	0	159.83
18	5.08292	909.264	Residuo antiguo	14	20	30.8394	70.5873	155.472	0	155.472
19	5.08292	877.244	Residuo antiguo	14	20	29.7367	68.0635	148.538	0	148.538
20	5.08292	829.106	Residuo antiguo	14	20	28.3054	64.7873	139.537	0	139.537
21	0.537165	86.8615	Impermeabilización	5	26	31.3664	71.7936	136.947	0	136.947
22	4.4835	692.333	Residuo nuevo - RNP	5	26	30.0211	68.7143	130.634	0	130.634
23	4.4835	554.439	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.4211	55.8967	104.354	0	104.354
24	4.4835	346.701	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.0114	36.6481	64.8884	0	64.8884
25	4.4835	118.99	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.75071	15.4515	21.4288	0	21.4288

List Of Coordinates

Focus Search Line

X	Y
---	---

53.5944	7.07811
143.122	6.20088

External Boundary

X	Y
103.321	17.5036
101.826	17.0163
84.9933	16.7449
66.796	9.74486
58.4609	9.28899
53.5944	7.07811
44.6631	7.62944
32.7062	3.10231
20.3063	2.74547
15.4931	1.74486
3.0583	0.236728
-0.0625509	0.196858
-0.055586	-3.7436
-0.0625509	-58.8284
329.578	-58.8284
329.578	42.3045
292.582	33.7449
285.963	34.7431
281.786	36.6257
249.937	36.6095
239.937	35.7408
228.473	34.7449
223.251	32.7449
215.722	32.4758
214.661	32.4379
192.922	31.6609
176.834	28.8303
159.22	27.7449
130.046	25.9471



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestiones.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Material Boundary

X	Y
135.655	-0.890104
143.001	5.70136

Material Boundary

X	Y
-0.055586	-3.7436
135.655	-0.890104

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
181.638	6.74486

215.445	22.7449
218.523	23.6177
228.751	23.7449
232.702	19.7449
266.47	20.7449
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
228.473	34.7449
249.937	36.6095

Material Boundary

X	Y
218.45	24.1168
228.957	24.2475
232.905	20.2511
266.303	21.2401
285.145	34.7708
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
101.826	17.0163
121.171	16.852
143.001	5.70136
153.461	5.66005

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
164.051	7.74493
157.721	7.74486
153.461	5.66005
164.012	4.36557
165.764	6.74463

Material Boundary

X	Y
215.722	32.4758
202.384	24.7318
218.45	24.1168
216.896	23.6759

Material Boundary

X	Y
103.321	17.5036



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]





VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]

2/10

2025

Habilitación

Profesional



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

121.294	17.351
143.122	6.20088
153.347	6.1605
157.605	8.24486
164.187	8.24493
165.879	7.24486
181.526	7.24486
215.269	23.2146
216.896	23.6759
200.641	24.2981
214.661	32.4379

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

2.1.3. ESTABILIDAD CONJUNTA DEL VERTEDERO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Circular - global
Slide Modeler Version: 6.005
Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta
Analysis: Perfil B-B'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Residuo nuevo - IN	Dique	Sustrato rocoso
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	7	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	27	40	45
Water Surface	None	None	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 2.180290
Center: 112.434, 49.781
Radius: 32.777
Left Slip Surface Endpoint: 104.681, 17.933
Right Slip Surface Endpoint: 135.272, 26.269
Resisting Moment=34578.2 kN-m
Driving Moment=15859.5 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 2.179980
Center: 112.434, 49.781
Radius: 32.777
Left Slip Surface Endpoint: 104.681, 17.933
Right Slip Surface Endpoint: 135.272, 26.269
Resisting Moment=34573.3 kN-m
Driving Moment=15859.5 kN-m
Resisting Horizontal Force=990.783 kN
Driving Horizontal Force=454.492 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 2632
Number of Invalid Surfaces: 2428

Error Codes:

Error Code -103 reported for 912 surfaces
Error Code -106 reported for 10 surfaces
Error Code -107 reported for 93 surfaces
Error Code -108 reported for 25 surfaces
Error Code -112 reported for 244 surfaces

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2601

Number of Invalid Surfaces: 2459

Error Codes:

Error Code -103 reported for 912 surfaces
 Error Code -106 reported for 10 surfaces
 Error Code -107 reported for 93 surfaces
 Error Code -108 reported for 53 surfaces
 Error Code -112 reported for 247 surfaces
 Error Code -1000 reported for 1144 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 106 = Average slice width is less than $0.0001 \times$ (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1 . This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi))/F < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 2.18029

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.11126	6.01325	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.68952	8.04423	6.2416	0	6.2416
2	1.11126	17.6384	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.10188	13.3039	17.0255	0	17.0255
3	1.16799	28.9121	Impermeabilización	5	26	8.10759	17.6769	25.9915	0	25.9915
4	1.16799	37.7371	Impermeabilización	5	26	9.77471	21.3117	33.4439	0	33.4439
5	1.16799	46.314	Impermeabilización	5	26	11.3668	24.783	40.5611	0	40.5611
6	1.16799	54.6453	Impermeabilización	5	26	12.8863	28.0959	47.3536	0	47.3536
7	1.16799	62.7326	Impermeabilización	5	26	14.3352	31.2548	53.8303	0	53.8303
8	1.16799	70.5767	Impermeabilización	5	26	15.7148	34.2628	59.9976	0	59.9976
9	1.16799	78.1772	Impermeabilización	5	26	17.0264	37.1224	65.8606	0	65.8606
10	1.16799	85.533	Impermeabilización	5	26	18.2706	39.8351	71.4225	0	71.4225
11	1.16799	92.642	Impermeabilización	5	26	19.4478	42.4018	76.6851	0	76.6851
12	1.27547	107.059	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.2806	44.2176	80.4081	0	80.4081
13	1.27547	110.612	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.6969	45.1253	82.2689	0	82.2689

Habilitación
Profesional2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



14	1.27547	112.943	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.8987	45.5652	83.1709	0	83.1709
15	1.27547	114.018	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.8846	45.5344	83.1081	0	83.1081
16	1.27547	113.794	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.6521	45.0275	82.0687	0	82.0687
17	1.27547	112.216	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.1975	44.0365	80.0364	0	80.0364
18	1.27547	109.223	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.5161	42.5507	76.9906	0	76.9906
19	1.27547	104.735	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.6014	40.5564	72.9013	0	72.9013
20	1.27547	98.6597	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.4455	38.0362	67.7343	0	67.7343
21	1.27547	90.8474	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.0334	34.9575	61.4219	0	61.4219
22	1.27547	76.8172	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.6923	29.8531	50.9563	0	50.9563
23	1.27547	57.7355	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.6368	23.1912	37.2975	0	37.2975
24	1.27547	36.4189	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.32182	15.9637	22.4788	0	22.4788
25	1.27547	12.5856	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.73177	8.13635	6.43045	0	6.43045

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 2.17998

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.11126	6.01325	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.73333	8.13858	6.43504	0	6.43504
2	1.11126	17.6384	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.30441	13.7435	17.9267	0	17.9267
3	1.16799	28.9121	Impermeabilización	5	26	8.54031	18.6177	27.9204	0	27.9204
4	1.16799	37.7371	Impermeabilización	5	26	10.4606	22.804	36.5036	0	36.5036
5	1.16799	46.314	Impermeabilización	5	26	12.2956	26.8041	44.7051	0	44.7051
6	1.16799	54.6453	Impermeabilización	5	26	14.0177	30.5583	52.4023	0	52.4023
7	1.16799	62.7326	Impermeabilización	5	26	15.6047	34.0179	59.4955	0	59.4955
8	1.16799	70.5767	Impermeabilización	5	26	17.0409	37.1488	65.9149	0	65.9149
9	1.16799	78.1772	Impermeabilización	5	26	18.3183	39.9335	71.6244	0	71.6244
10	1.16799	85.533	Impermeabilización	5	26	19.4365	42.3712	76.6222	0	76.6222
11	1.16799	92.642	Impermeabilización	5	26	20.4023	44.4767	80.9392	0	80.9392
12	1.27547	107.059	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.9315	45.6303	83.3046	0	83.3046
13	1.27547	110.612	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.9769	45.7293	83.5075	0	83.5075
14	1.27547	112.943	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.792	45.3261	82.6804	0	82.6804
15	1.27547	114.018	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.4089	44.491	80.9684	0	80.9684
16	1.27547	113.794	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.8555	43.2847	78.4955	0	78.4955
17	1.27547	112.216	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.1532	41.7536	75.356	0	75.356
18	1.27547	109.223	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.3153	39.927	71.6109	0	71.6109



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



19	1.27547	104.735	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.3464	37.8148	67.2803	0	67.2803
20	1.27547	98.6597	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.2418	35.4067	62.343	0	62.343
21	1.27547	90.8474	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.9814	32.6591	56.7095	0	56.7095
22	1.27547	76.8172	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.9074	28.1379	47.4398	0	47.4398
23	1.27547	57.7355	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.1725	22.1758	35.2157	0	35.2157
24	1.27547	36.4189	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.14167	15.5687	21.6691	0	21.6691
25	1.27547	12.5856	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.71606	8.10093	6.35785	0	6.35785

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
103.321	17.5036
101.826	17.0163
84.9933	16.7449
66.796	9.74486
58.4609	9.28899
53.5944	7.07811
44.6631	7.62944
32.7062	3.10231
20.3063	2.74547
15.4931	1.74486
3.0583	0.236728
-0.0625509	0.196858
-0.055586	-3.7436
-0.0625509	-58.8284
329.578	-58.8284
329.578	42.3045
292.582	33.7449
285.963	34.7431
281.786	36.6257
249.937	36.6095
239.937	35.7408
228.473	34.7449
223.251	32.7449
215.722	32.4758
214.661	32.4379
192.922	31.6609
176.834	28.8303
159.22	27.7449
130.046	25.9471

Material Boundary

X	Y
---	---

135.655	-0.890104
143.001	5.70136

Material Boundary

X	Y
-0.055586	-3.7436
135.655	-0.890104

Material Boundary



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

X	Y
165.764	6.74463
181.638	6.74486
215.445	22.7449
218.523	23.6177
228.751	23.7449
232.702	19.7449
266.47	20.7449
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
228.473	34.7449
249.937	36.6095

Material Boundary

X	Y
218.45	24.1168
228.957	24.2475
232.905	20.2511
266.303	21.2401
285.145	34.7708
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
101.826	17.0163
121.171	16.852
143.001	5.70136
153.461	5.66005

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
164.051	7.74493
157.721	7.74486
153.461	5.66005

SLIDEINTERPRET 6.005

164.012	4.36557
165.764	6.74463

Material Boundary

X	Y
215.722	32.4758
202.384	24.7318
218.45	24.1168
216.896	23.6759



Material Boundary

X	Y
103.321	17.5036
121.294	17.351
143.122	6.20088
153.347	6.1605
157.605	8.24486
164.187	8.24493
165.879	7.24486
181.526	7.24486
215.269	23.2146
216.896	23.6759
200.641	24.2981
214.661	32.4379



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]



	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS	
	Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez	
Habilitación Profesional		
2/10 2025		
 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]		

2.1.4. ROTURA POLIGONAL

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Poligonal
Slide Modeler Version: 6.005
Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta
Analysis: Perfil B-B'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 10
Circles per division: 10
Number of iterations: 10

Divisions to use in next iteration: 50%
Number of vertices per surface: 12
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Residuo nuevo - IN	Dique	Sustrato rocoso
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	7	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	27	40	45
Water Surface	None	None	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 2.189730
Axis Location: 61.114, 124.113
Left Slip Surface Endpoint: 29.935, 3.023
Right Slip Surface Endpoint: 139.279, 26.516
Resisting Moment=1.017e+006 kN-m
Driving Moment=464439 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 2.180400
Axis Location: 61.342, 123.388
Left Slip Surface Endpoint: 30.501, 3.039
Right Slip Surface Endpoint: 139.117, 26.506
Resisting Moment=981884 kN-m
Driving Moment=450323 kN-m
Resisting Horizontal Force=7526.16 kN
Driving Horizontal Force=3451.73 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 3171
Number of Invalid Surfaces: 1331

Error Codes:

Error Code -105 reported for 299 surfaces
Error Code -106 reported for 800 surfaces
Error Code -107 reported for 32 surfaces
Error Code -108 reported for 197 surfaces
Error Code -1000 reported for 3 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2998
Number of Invalid Surfaces: 1504

Error Codes:

Error Code -105 reported for 299 surfaces
Error Code -106 reported for 800 surfaces
Error Code -107 reported for 32 surfaces
Error Code -108 reported for 370 surfaces
Error Code -1000 reported for 3 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
- 106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 2.18973

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	6.92034	262.155	Residuo antiguo	14	20	13.9152	30.4706	45.2525	0	45.2525
2	5.60581	548.063	Residuo antiguo	14	20	22.2907	48.8106	95.6414	0	95.6414
3	5.60581	649.661	Residuo antiguo	14	20	25.2562	55.3042	113.482	0	113.482
4	1.62558	180.419	Residuo antiguo	14	20	24.8093	54.3256	110.794	0	110.794
5	5.23509	587.561	Residuo antiguo	14	20	25.3848	55.5859	114.257	0	114.257
6	5.23509	749.592	Residuo antiguo	14	20	30.5984	67.0023	145.622	0	145.622
7	5.23509	848.39	Residuo antiguo	14	20	33.7774	73.9633	164.748	0	164.748
8	5.23509	946.162	Residuo antiguo	14	20	36.9233	80.8521	183.675	0	183.675
9	4.79427	1005.22	Residuo antiguo	14	20	40.4938	88.6704	205.155	0	205.155
10	4.58872	1029.53	Residuo antiguo	14	20	41.8105	91.5536	213.078	0	213.078
11	4.58872	1068.2	Residuo antiguo	14	20	43.151	94.4891	221.142	0	221.142
12	4.58872	1054.85	Residuo antiguo	14	20	42.6881	93.4754	218.357	0	218.357
13	4.58872	969.796	Residuo antiguo	14	20	39.7396	87.0189	200.618	0	200.618
14	5.33011	1039.99	Residuo antiguo	14	20	37.7083	82.5709	188.398	0	188.398
15	5.33011	973.322	Residuo antiguo	14	20	35.689	78.1492	176.249	0	176.249
16	5.33011	1012.76	Residuo antiguo	14	20	36.8836	80.7651	183.436	0	183.436
17	4.3516	877.373	Residuo antiguo	14	20	38.3674	84.0143	192.363	0	192.363
18	4.3516	912.273	Residuo antiguo	14	20	39.6491	86.8208	200.074	0	200.074
19	3.69872	769.002	Residuo antiguo	14	20	37.5317	82.1842	187.335	0	187.335
20	3.69872	734.925	Residuo antiguo	14	20	36.1282	79.1109	178.891	0	178.891
21	0.78986	151.082	Residuo antiguo	14	20	32.792	71.8057	158.82	0	158.82
22	0.374159	70.7355	Impermeabilización	5	26	36.3733	79.6478	153.051	0	153.051
23	4.13307	680.581	Residuo nuevo - RNP	5	26	31.923	69.9028	133.07	0	133.07
			Residuo nuevo -							



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestiones.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



RNP									
25	3.97559	131.403	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.90942	17.3195	25.2587	0 25.2587

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 2.1804

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	5.56852	181.292	Residuo antiguo	14	20	13.4052	29.2287	41.8406	0	41.8406
2	6.86615	630.367	Residuo antiguo	14	20	22.1997	48.4043	94.525	0	94.525
3	6.86615	801.537	Residuo antiguo	14	20	26.7143	58.2478	121.57	0	121.57
4	3.47866	393.933	Residuo antiguo	14	20	27.0405	58.959	123.524	0	123.524
5	3.47866	434.749	Residuo antiguo	14	20	29.3057	63.8982	137.094	0	137.094
6	4.63773	693.447	Residuo antiguo	14	20	33.0033	71.9603	159.245	0	159.245
7	4.63773	716.573	Residuo antiguo	14	20	33.9745	74.0781	165.063	0	165.063
8	4.63773	770.11	Residuo antiguo	14	20	36.0122	78.521	177.27	0	177.27
9	4.53814	860.279	Residuo antiguo	14	20	38.6583	84.2905	193.122	0	193.122
10	4.77633	988.596	Residuo antiguo	14	20	40.0615	87.3502	201.528	0	201.528
11	3.94238	857.679	Residuo antiguo	14	20	40.2476	87.7559	202.643	0	202.643
12	3.94238	859.021	Residuo antiguo	14	20	40.1324	87.5047	201.953	0	201.953
13	3.94238	796.477	Residuo antiguo	14	20	37.5312	81.8331	186.37	0	186.37
14	5.34407	995.081	Residuo antiguo	14	20	36.0596	78.6244	177.554	0	177.554
15	4.18874	736.598	Residuo antiguo	14	20	35.2932	76.9533	172.963	0	172.963
16	4.18874	731.493	Residuo antiguo	14	20	34.8433	75.9724	170.268	0	170.268
17	4.18874	794.653	Residuo antiguo	14	20	37.0868	80.8641	183.708	0	183.708
18	3.49029	703.857	Residuo antiguo	14	20	37.2715	81.2667	184.814	0	184.814
19	3.49029	727.76	Residuo antiguo	14	20	38.2883	83.4838	190.905	0	190.905
20	6.21736	1308.06	Residuo antiguo	14	20	37.0713	80.8302	183.614	0	183.614
21	4.3433	880.809	Residuo antiguo	14	20	34.431	75.0734	167.798	0	167.798
22	0.349358	69.0701	Impermeabilización	5	26	35.6062	77.6358	148.926	0	148.926
23	4.77103	805.943	Residuo nuevo - RNP	5	26	31.1574	67.9356	129.037	0	129.037
24	3.36558	336.641	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.8767	41.1587	74.1364	0	74.1364
25	3.36558	112.214	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.64727	16.6741	23.9354	0	23.9354

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
103.321	17.5036
101.826	17.0163
84.9933	16.7449
66.796	9.74486
58.4609	9.28899
53.5944	7.07811
44.6631	7.62944
32.7062	3.10231
20.3063	2.74547
15.4931	1.74486
3.0583	0.236728

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS



Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10
2025

VISADO : 03202500128



Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

-0.0625509	0.196858
-0.055586	-3.7436
-0.0625509	-58.8284
329.578	-58.8284
329.578	42.3045
292.582	33.7449
285.963	34.7431
281.786	36.6257
249.937	36.6095
239.937	35.7408
228.473	34.7449
223.251	32.7449
215.722	32.4758
214.661	32.4379
192.922	31.6609
176.834	28.8303
159.22	27.7449
130.046	25.9471

Material Boundary

X	Y
135.655	-0.890104
143.001	5.70136

Material Boundary

X	Y
-0.055586	-3.7436
135.655	-0.890104

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
181.638	6.74486
215.445	22.7449
218.523	23.6177
228.751	23.7449
232.702	19.7449
266.47	20.7449
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
228.473	34.7449
249.937	36.6095

Material Boundary

X	Y
218.45	24.1168

228.957	24.2475
232.905	20.2511
266.303	21.2401
285.145	34.7708
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
101.826	17.0163
121.171	16.852
143.001	5.70136
153.461	5.66005

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
164.051	7.74493
157.721	7.74486
153.461	5.66005
164.012	4.36557
165.764	6.74463

Material Boundary

X	Y
215.722	32.4758
202.384	24.7318
218.45	24.1168
216.896	23.6759

Material Boundary

X	Y
103.321	17.5036
121.294	17.351
143.122	6.20088
153.347	6.1605
157.605	8.24486
164.187	8.24493
165.879	7.24486
181.526	7.24486
215.269	23.2146
216.896	23.6759
200.641	24.2981
214.661	32.4379



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]




ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
Habilitación Profesional
2/10 2025
 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

2.2. SITUACIÓN ACCIDENTAL TIPO 1

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional	2/10 2025	 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]
--	--------------	--

2.2.1. ROTURA POR LA MASA DE RESIDUO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 1 Circular - Residuo

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil B-B'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search

Radius Increment: 10

Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack

Minimum Elevation: Not Defined

Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Residuo nuevo - IN	Dique	Sustrato rocoso
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	7	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	27	40	45
Water Surface	Water Table	None	Water Table	Water Table	None	None
Hu Value	1		1	1		
Ru Value		0			0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 2.175120
Center: 112.434, 49.781
Radius: 34.118
Left Slip Surface Endpoint: 102.349, 17.187
Right Slip Surface Endpoint: 137.275, 26.393
Resisting Moment=49934.3 kN-m
Driving Moment=22957.1 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 2.161440
Center: 112.434, 49.781
Radius: 34.118
Left Slip Surface Endpoint: 102.349, 17.187
Right Slip Surface Endpoint: 137.275, 26.393
Resisting Moment=49620.4 kN-m
Driving Moment=22957.1 kN-m
Resisting Horizontal Force=1359.63 kN
Driving Horizontal Force=629.036 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1640
Number of Invalid Surfaces: 3420

Error Codes:

Error Code -103 reported for 296 surfaces
Error Code -106 reported for 30 surfaces
Error Code -107 reported for 477 surfaces
Error Code -108 reported for 30 surfaces
Error Code -110 reported for 216 surfaces
Error Code -112 reported for 176 surfaces
Error Code -113 reported for 61 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 1602

Number of Invalid Surfaces: 3458

Error Codes:

Error Code -103 reported for 296 surfaces
 Error Code -106 reported for 30 surfaces
 Error Code -107 reported for 477 surfaces
 Error Code -108 reported for 65 surfaces
 Error Code -110 reported for 216 surfaces
 Error Code -112 reported for 179 surfaces
 Error Code -113 reported for 61 surfaces
 Error Code -1000 reported for 2134 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 113 = Surface intersects outside slope limits.
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 2.17512

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.601292	0.565275	Impermeabilización	5	26	2.69008	5.85124	1.74529	0	1.74529
2	1.40681	10.6206	Residuo antiguo	14	20	8.05886	17.529	9.69583	0	9.69583
3	1.40681	29.3462	Residuo antiguo	14	20	10.3089	22.423	23.1421	0	23.1421
4	1.40681	46.9532	Residuo antiguo	14	20	12.3896	26.9488	35.5765	0	35.5765
5	1.40681	63.1906	Residuo antiguo	14	20	14.2748	31.0494	46.8429	0	46.8429
6	1.40681	78.0849	Residuo antiguo	14	20	15.9724	34.7418	56.9875	0	56.9875
7	1.40681	91.6551	Residuo antiguo	14	20	17.4884	38.0393	66.0474	0	66.0474
8	1.40681	103.913	Residuo antiguo	14	20	18.8278	40.9527	74.0517	0	74.0517
9	1.40681	114.864	Residuo antiguo	14	20	19.9943	43.4899	81.0224	0	81.0224
10	1.40681	124.506	Residuo antiguo	14	20	20.9904	45.6566	86.9761	0	86.9761
11	1.40681	132.83	Residuo antiguo	14	20	21.8179	47.4566	91.9213	0	91.9213
12	1.40681	139.821	Residuo antiguo	14	20	22.4774	48.8911	95.8622	0	95.8622
13	1.40681	145.456	Residuo antiguo	14	20	22.9687	49.9596	98.7983	0	98.7983

SLIDEINTERPRET 6.005



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
Habilitación Profesional
2/10
2025
VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



14	1.40681	149.693	Residuo antiguo	14	20	23.289	50.6564	100.713	0	100.713
15	0.711125	78.8249	Impermeabilización	5	26	25.5568	55.5892	103.723	0	103.723
16	1.53254	175.807	Residuo nuevo - RNP	5	26	26.1672	56.9167	106.445	0	106.445
17	1.53254	174.676	Residuo nuevo - RNP	5	26	25.7267	55.9586	104.481	0	104.481
18	1.53254	171.239	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.9728	54.3189	101.119	0	101.119
19	1.53254	165.359	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.8959	51.9765	96.3162	0	96.3162
20	1.53254	156.865	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.4834	48.9042	90.0167	0	90.0167
21	1.53254	142.778	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.3645	44.2953	80.5673	0	80.5673
22	1.53254	118.031	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.9281	36.8207	65.2419	0	65.2419
23	1.53254	89.3995	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.085	28.4614	48.103	0	48.103
24	1.53254	56.8536	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.86627	19.2852	29.289	0	29.289
25	1.53254	19.7681	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.24289	9.22879	8.67029	0	8.67029

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 2.16144

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.601292	0.565275	Impermeabilización	5	26	2.72119	5.88168	1.80772	0	1.80772
2	1.40681	10.6206	Residuo antiguo	14	20	8.22676	17.7816	10.39	0	10.39
3	1.40681	29.3462	Residuo antiguo	14	20	10.7172	23.1646	25.1796	0	25.1796
4	1.40681	46.9532	Residuo antiguo	14	20	13.0894	28.2919	39.2667	0	39.2667
5	1.40681	63.1906	Residuo antiguo	14	20	15.265	32.9944	52.1868	0	52.1868
6	1.40681	78.0849	Residuo antiguo	14	20	17.2078	37.1936	63.7238	0	63.7238
7	1.40681	91.6551	Residuo antiguo	14	20	18.8902	40.83	73.7148	0	73.7148
8	1.40681	103.913	Residuo antiguo	14	20	20.2958	43.8682	82.0624	0	82.0624
9	1.40681	114.864	Residuo antiguo	14	20	21.4197	46.2975	88.7368	0	88.7368
10	1.40681	124.506	Residuo antiguo	14	20	22.268	48.1309	93.7743	0	93.7743
11	1.40681	132.83	Residuo antiguo	14	20	22.8559	49.4017	97.2652	0	97.2652
12	1.40681	139.821	Residuo antiguo	14	20	23.2057	50.1578	99.3425	0	99.3425
13	1.40681	145.456	Residuo antiguo	14	20	23.3438	50.4562	100.162	0	100.162
14	1.40681	149.693	Residuo antiguo	14	20	23.2964	50.3538	99.8808	0	99.8808
15	0.711125	78.8249	Impermeabilización	5	26	25.2628	54.604	101.703	0	101.703
16	1.53254	175.807	Residuo nuevo - RNP	5	26	25.5008	55.1185	102.758	0	102.758
17	1.53254	174.676	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.6386	53.2548	98.9373	0	98.9373
18	1.53254	171.239	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.5853	50.9783	94.2693	0	94.2693
19	1.53254	165.359	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.3549	48.3188	88.8166	0	88.8166
20	1.53254	156.865	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.9458	45.2731	82.5721	0	82.5721
21	1.53254	142.778	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.0017	41.0711	73.9568	0	73.9568
22	1.53254	118.031	Residuo nuevo - RNP	5	26	15.9114	34.3916	60.262	0	60.262

23	1.53254	89.3995	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.4746	26.963	45.0309	0	45.0309
24	1.53254	56.8536	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.63258	18.6588	28.0046	0	28.0046
25	1.53254	19.7681	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.23256	9.14843	8.50554	0	8.50554

List Of Coordinates

Water Table

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional 2/10 2025 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	<table> <thead> <tr> <th>X</th><th>Y</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>-0.0590492</td><td>-1.78426</td></tr> <tr><td>44.496</td><td>0.89</td></tr> <tr><td>74.88</td><td>4.829</td></tr> <tr><td>115.533</td><td>9.893</td></tr> <tr><td>148.168</td><td>15.097</td></tr> <tr><td>186.992</td><td>21.287</td></tr> <tr><td>212.593</td><td>27.335</td></tr> <tr><td>243.68</td><td>30.008</td></tr> <tr><td>279.666</td><td>30.8366</td></tr> </tbody> </table>		X	Y	-0.0590492	-1.78426	44.496	0.89	74.88	4.829	115.533	9.893	148.168	15.097	186.992	21.287	212.593	27.335	243.68	30.008	279.666	30.8366
X	Y																					
-0.0590492	-1.78426																					
44.496	0.89																					
74.88	4.829																					
115.533	9.893																					
148.168	15.097																					
186.992	21.287																					
212.593	27.335																					
243.68	30.008																					
279.666	30.8366																					

External Boundary

X	Y
103.321	17.5036
101.826	17.0163
84.9933	16.7449
66.796	9.74486
58.4609	9.28899
53.5944	7.07811
44.6631	7.62944
32.7062	3.10231
20.3063	2.74547
15.4931	1.74486
3.0583	0.236728
-0.0625509	0.196858
-0.055586	-3.7436
-0.0625509	-58.8284
329.578	-58.8284
329.578	42.3045
292.582	33.7449
285.963	34.7431
281.786	36.6257
249.937	36.6095
239.937	35.7408
228.473	34.7449
223.251	32.7449
215.722	32.4758
214.661	32.4379
192.922	31.6609
176.834	28.8303
159.22	27.7449

SLIDEINTERPRET 6.005

130.046	25.9471
---------	---------

Material Boundary

X	Y
135.655	-0.890104
143.001	5.70136

Material Boundary

X	Y
-0.055586	-3.7436
135.655	-0.890104

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
181.638	6.74486
215.445	22.7449
218.523	23.6177
228.751	23.7449
232.702	19.7449
266.47	20.7449
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
228.473	34.7449
249.937	36.6095

Material Boundary

X	Y
218.45	24.1168
228.957	24.2475
232.905	20.2511
266.303	21.2401
285.145	34.7708
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
101.826	17.0163
121.171	16.852
143.001	5.70136
153.461	5.66005

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463

SLIDEINTERPRET 6.005

164.051	7.74493
157.721	7.74486
153.461	5.66005
164.012	4.36557
165.764	6.74463

Material Boundary

X	Y
215.722	32.4758
202.384	24.7318
218.45	24.1168
216.896	23.6759



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10 2025

VISADO : 03202500128



Validar

icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]

Material Boundary

X	Y
103.321	17.5036
121.294	17.351
143.122	6.20088
153.347	6.1605
157.605	8.24486
164.187	8.24493
165.879	7.24486
181.526	7.24486
215.269	23.2146
216.896	23.6759
200.641	24.2981
214.661	32.4379


SLIDEINTERPRET 6.005

Page 7 of 7

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS	
	Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez	
Habilitación Profesional		
2/10 2025		
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]		

2.2.2. ROTURA CONTACTO VERTEDERO-TERRENO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 1 Circular - vertedero y terreno

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil B-B'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search

Radius Increment: 10

Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Residuo nuevo - IN	Dique	Sustrato rocoso
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	7	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	27	40	45
Water Surface	Water Table	None	Water Table	Water Table	None	None
Hu Value	1		1	1		
Ru Value		0			0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.986920
Center: 76.244, 122.187
Radius: 123.944
Left Slip Surface Endpoint: 36.848, 4.670
Right Slip Surface Endpoint: 156.298, 27.565
Resisting Moment=1.12112e+006 kN-m
Driving Moment=564251 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.985870
Center: 76.244, 122.187
Radius: 123.944
Left Slip Surface Endpoint: 36.848, 4.670
Right Slip Surface Endpoint: 156.298, 27.565
Resisting Moment=1.12053e+006 kN-m
Driving Moment=564251 kN-m
Resisting Horizontal Force=8554.43 kN
Driving Horizontal Force=4307.64 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1738
Number of Invalid Surfaces: 3322

Error Codes:

Error Code -101 reported for 10 surfaces
Error Code -103 reported for 537 surfaces
Error Code -109 reported for 1 surface
Error Code -110 reported for 23 surfaces
Error Code -112 reported for 91 surfaces

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez
Habilitación Profesional
2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Error Code -118 reported for 86 surfaces
Error Code -1000 reported for 2574 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 1736
Number of Invalid Surfaces: 3324

Error Codes:

Error Code -101 reported for 10 surfaces
Error Code -103 reported for 537 surfaces
Error Code -108 reported for 2 surfaces
Error Code -109 reported for 1 surface
Error Code -110 reported for 23 surfaces
Error Code -112 reported for 91 surfaces
Error Code -118 reported for 86 surfaces
Error Code -1000 reported for 2574 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 118 = Surface does not pass through the search focus
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.98692

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	4.9991	138.054	Residuo antiguo	14	20	12.8372	25.5065	31.6138	0	31.6138
2	4.9991	388.273	Residuo antiguo	14	20	22.3634	44.4342	83.6171	0	83.6171
3	4.9991	489.239	Residuo antiguo	14	20	25.4797	50.6262	103.523	2.8933	100.63
4	4.9991	588.513	Residuo antiguo	14	20	25.9639	51.5882	122.379	19.1061	103.273
5	4.9991	784.382	Residuo antiguo	14	20	30.4661	60.5338	161.093	33.242	127.851
6	4.9991	861.422	Residuo antiguo	14	20	30.8501	61.2967	175.288	45.3411	129.946
7	4.9991	980.928	Residuo antiguo	14	20	33.1747	65.9154	198.069	55.4323	142.636
8	4.9991	1148.96	Residuo antiguo	14	20	37.615	74.738	230.41	63.5343	166.876
9	4.9991	1300.85	Residuo antiguo	14	20	41.8031	83.0595	259.174	69.4335	189.74
10	4.9991	1426.53	Residuo antiguo	14	20	45.344	90.0949	282.392	73.3239	209.069
11	4.9991	1427.96	Residuo antiguo	14	20	44.7225	88.86	280.897	75.2216	205.676

SLIDEINTERPRET 6.005

Habilitación
Profesional2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



12	4.9991	1383.65	Residuo antiguo	14	20	42.8331	85.1059	270.467	75.1055	195.362
13	4.9991	1322.67	Residuo antiguo	14	20	40.7374	80.9419	256.865	72.9441	183.921
14	4.9991	1286.44	Residuo antiguo	14	20	39.9028	79.2836	248.059	68.6944	179.364
15	4.9991	1322.45	Residuo antiguo	14	20	41.9654	83.3819	252.926	62.3009	190.625
16	4.9991	1345.01	Residuo antiguo	14	20	43.9018	87.2293	254.89	53.694	201.196
17	4.9991	1348.56	Residuo antiguo	14	20	45.3115	90.0304	252.98	44.0886	208.891
18	4.9991	1344.91	Residuo antiguo	14	20	46.7739	92.9359	249.363	32.4894	216.874
19	4.9991	1326.29	Residuo antiguo	14	20	48.1102	95.5912	242.527	18.3579	224.169
20	0.552766	142.528	Impermeabilización	5	26	58.5625	116.359	228.319	0	228.319
21	4.78294	1142.51	Residuo nuevo - RNP	5	26	54.0525	107.398	209.947	0	209.947
22	4.78294	935.165	Residuo nuevo - RNP	5	26	44.0878	87.599	169.353	0	169.353
23	4.78294	702.721	Residuo nuevo - RNP	5	26	33.2246	66.0147	125.099	0	125.099
24	4.78294	442.92	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.4282	42.5761	77.0425	0	77.0425
25	4.78294	152.934	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.65817	17.2031	25.0201	0	25.0201

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.98587

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	4.9991	138.054	Residuo antiguo	14	20	12.9702	25.7571	32.3022	0	32.3022
2	4.9991	388.273	Residuo antiguo	14	20	22.9877	45.6505	86.9592	0	86.9592
3	4.9991	489.239	Residuo antiguo	14	20	26.6352	52.894	109.754	2.8933	106.86
4	4.9991	588.513	Residuo antiguo	14	20	27.573	54.7564	131.084	19.1061	111.977
5	4.9991	784.382	Residuo antiguo	14	20	32.5925	64.7245	172.607	33.242	139.365
6	4.9991	861.422	Residuo antiguo	14	20	33.1847	65.9005	187.937	45.3411	142.595
7	4.9991	980.928	Residuo antiguo	14	20	35.6077	70.7122	211.248	55.4323	155.815
8	4.9991	1148.96	Residuo antiguo	14	20	40.0288	79.4919	243.471	63.5343	179.937
9	4.9991	1300.85	Residuo antiguo	14	20	43.9734	87.3255	270.894	69.4335	201.461
10	4.9991	1426.53	Residuo antiguo	14	20	47.0506	93.4364	291.574	73.3239	218.251
11	4.9991	1427.96	Residuo antiguo	14	20	45.7337	90.8211	286.286	75.2216	211.064
12	4.9991	1383.65	Residuo antiguo	14	20	43.0979	85.5868	271.789	75.1055	196.683
13	4.9991	1322.67	Residuo antiguo	14	20	40.2996	80.0297	254.359	72.9441	181.415
14	4.9991	1286.44	Residuo antiguo	14	20	38.8516	77.1543	242.21	68.6944	173.516
15	4.9991	1322.45	Residuo antiguo	14	20	40.3744	80.1783	244.124	62.3009	181.823
16	4.9991	1345.01	Residuo antiguo	14	20	41.8911	83.1903	243.792	53.694	190.098
17	4.9991	1348.56	Residuo antiguo	14	20	43.0348	85.4615	240.427	44.0886	196.339
18	4.9991	1344.91	Residuo antiguo	14	20	44.4041	88.1808	236.299	32.4894	203.81
19	4.9991	1326.29	Residuo antiguo	14	20	45.8423	91.0369	230.016	18.3579	211.658
20	0.552766	142.528	Impermeabilización	5	26	56.1336	111.474	218.303	0	218.303
21	4.78294	1142.51	Residuo nuevo - RNP	5	26	51.8473	102.962	200.852	0	200.852
22	4.78294	935.165	Residuo nuevo - RNP	5	26	42.4383	84.277	162.542	0	162.542
23	4.78294	702.721	Residuo nuevo - RNP	5	26	32.211	63.9668	120.9	0	120.9
24	4.78294	442.92	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.0001	41.7034	75.253	0	75.253
25	4.78294	152.934	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.59769	17.0739	24.7551	0	24.7551

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-0.0590492	-1.78426
44.496	0.89
74.88	4.829
115.533	9.893
148.168	15.097
186.992	21.287
212.593	27.335
243.68	30.008
279.666	30.8366

Focus Search Line

X	Y
53.5944	7.07811
143.122	6.20088

External Boundary

X	Y
103.321	17.5036
101.826	17.0163
84.9933	16.7449
66.796	9.74486
58.4609	9.28899
53.5944	7.07811
44.6631	7.62944
32.7062	3.10231
20.3063	2.74547
15.4931	1.74486
3.0583	0.236728
-0.0625509	0.196858
-0.055586	-3.7436
-0.0625509	-58.8284
329.578	-58.8284
329.578	42.3045
292.582	33.7449
285.963	34.7431
281.786	36.6257
249.937	36.6095
239.937	35.7408
228.473	34.7449
223.251	32.7449
215.722	32.4758
214.661	32.4379
192.922	31.6609
176.834	28.8303



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



159.22	27.7449
130.046	25.9471

Material Boundary

X	Y
135.655	-0.890104
143.001	5.70136

Material Boundary

X	Y
-0.055586	-3.7436
135.655	-0.890104

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
181.638	6.74486
215.445	22.7449
218.523	23.6177
228.751	23.7449
232.702	19.7449
266.47	20.7449
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
228.473	34.7449
249.937	36.6095

Material Boundary

X	Y
218.45	24.1168
228.957	24.2475
232.905	20.2511
266.303	21.2401
285.145	34.7708
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
101.826	17.0163
121.171	16.852
143.001	5.70136
153.461	5.66005

Material Boundary



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWBCBRR]



X	Y
165.764	6.74463
164.051	7.74493
157.721	7.74486
153.461	5.66005
164.012	4.36557
165.764	6.74463

Material Boundary



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10 2025

VISADO : 03202500128



Validar

icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]

X	Y
215.722	32.4758
202.384	24.7318
218.45	24.1168
216.896	23.6759

Material Boundary

X	Y
103.321	17.5036
121.294	17.351
143.122	6.20088
153.347	6.1605
157.605	8.24486
164.187	8.24493
165.879	7.24486
181.526	7.24486
215.269	23.2146
216.896	23.6759
200.641	24.2981
214.661	32.4379


SLIDEINTERPRET 6.005

Page 7 of 7


ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
Habilitación Profesional
2/10 2025
 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

2.2.3. ESTABILIDAD CONJUNTA DEL VERTEDERO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 1 - Circular - global
Slide Modeler Version: 6.005
Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta
Analysis: Perfil B-B'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Residuo nuevo - IN	Dique	Sustrato rocoso
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	7	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	27	40	45
Water Surface	Water Table	None	Water Table	Water Table	None	None
Hu Value	1		1	1		
Ru Value		0			0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.982850
Center: 58.148, 158.390
Radius: 160.756
Left Slip Surface Endpoint: 18.999, 2.474
Right Slip Surface Endpoint: 151.120, 27.246
Resisting Moment=1.38802e+006 kN-m
Driving Moment=700014 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.985330
Center: 58.148, 158.390
Radius: 160.756
Left Slip Surface Endpoint: 18.999, 2.474
Right Slip Surface Endpoint: 151.120, 27.246
Resisting Moment=1.38976e+006 kN-m
Driving Moment=700014 kN-m
Resisting Horizontal Force=8248.66 kN
Driving Horizontal Force=4154.8 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 2471
Number of Invalid Surfaces: 2589

Error Codes:

Error Code -103 reported for 912 surfaces
Error Code -106 reported for 10 surfaces
Error Code -107 reported for 93 surfaces
Error Code -108 reported for 18 surfaces
Error Code -110 reported for 169 surfaces

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
Habilitación Profesional
2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Error Code -112 reported for 243 surfaces
Error Code -1000 reported for 1144 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2439
Number of Invalid Surfaces: 2621

Error Codes:

Error Code -103 reported for 912 surfaces
Error Code -106 reported for 10 surfaces
Error Code -107 reported for 93 surfaces
Error Code -108 reported for 46 surfaces
Error Code -110 reported for 169 surfaces
Error Code -112 reported for 247 surfaces
Error Code -1000 reported for 1144 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 106 = Average slice width is less than $0.0001 \times$ (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1 . This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.98285

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	5.43802	79.7895	Residuo antiguo	14	20	10.1884	20.2021	17.04	0	17.04
2	5.43802	197.399	Residuo antiguo	14	20	14.2365	28.2288	39.0931	0	39.0931
3	5.43802	314.617	Residuo antiguo	14	20	17.3387	34.3801	60.6431	4.64923	55.9939
4	5.43802	539.266	Residuo antiguo	14	20	22.9466	45.4997	102.056	15.5113	86.5449
5	5.43802	761.75	Residuo antiguo	14	20	28.7549	57.0167	142.712	24.5242	118.187
6	5.43802	821.78	Residuo antiguo	14	20	28.7294	56.966	152.769	34.7213	118.048
7	5.43802	861.515	Residuo antiguo	14	20	28.2225	55.9609	159.091	43.8044	115.287
8	5.43802	1011.45	Residuo antiguo	14	20	31.7663	62.9879	185.674	51.0801	134.594
9	5.43802	1034.19	Residuo antiguo	14	20	31.3362	62.135	188.799	56.5495	132.25
10	5.43802	1138.65	Residuo antiguo	14	20	33.9578	67.3332	206.74	60.2078	146.533
11	5.43802	1275.6	Residuo antiguo	14	20	37.9588	75.2666	230.311	61.983	168.328
12	5.43802	1396.23	Residuo antiguo	14	20	41.7379	82.7599	250.624	61.7078	188.916
13	5.43802	1435.2	Residuo antiguo	14	20	43.13	85.5204	256.068	59.5676	196.5

SLIDEINTERPRET 6.005

14	5.43802	1349.69	Residuo antiguo	14	20	40.7944	80.8892	239.306	55.5305	183.776
15	5.43802	1245.39	Residuo antiguo	14	20	38.2165	75.7775	219.289	49.5567	169.732
16	5.43802	1149.71	Residuo antiguo	14	20	36.2868	71.9512	200.817	41.5976	159.219
17	5.43802	1153.94	Residuo antiguo	14	20	37.9084	75.1667	199.649	31.595	168.054
18	5.43802	1156.22	Residuo antiguo	14	20	39.8002	78.9179	197.84	19.4797	178.36
19	5.43802	1138.83	Residuo antiguo	14	20	41.174	81.6418	192.407	6.56305	185.844
20	5.43802	1118.33	Residuo antiguo	14	20	41.3412	81.9733	186.755	0	186.755
21	0.565067	116.844	Impermeabilización	5	26	47.7247	94.6309	183.77	0	183.77
22	5.69894	1101.44	Residuo nuevo - RNP	5	26	44.4885	88.2141	170.615	0	170.615
23	5.69894	830.949	Residuo nuevo - RNP	5	26	33.732	66.8855	126.884	0	126.884
24	5.69894	522.314	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.7655	43.1578	78.2351	0	78.2351
25	5.69894	179.944	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.82104	17.4908	25.61	0	25.61

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.98533

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-0.0590492	-1.78426
44.496	0.89
74.88	4.829
115.533	9.893
148.168	15.097
186.992	21.287
212.593	27.335
243.68	30.008
279.666	30.8366

External Boundary

X	Y
103.321	17.5036
101.826	17.0163
84.9933	16.7449
66.796	9.74486
58.4609	9.28899
53.5944	7.07811
44.6631	7.62944
32.7062	3.10231
20.3063	2.74547
15.4931	1.74486
3.0583	0.236728
-0.0625509	0.196858
-0.055586	-3.7436
-0.0625509	-58.8284
329.578	-58.8284
329.578	42.3045
292.582	33.7449
285.963	34.7431
281.786	36.6257
249.937	36.6095
239.937	35.7408
228.473	34.7449
223.251	32.7449
215.722	32.4758
214.661	32.4379
192.922	31.6609
176.834	28.8303
159.22	27.7449
130.046	25.9471

Material Boundary

X	Y
135.655	-0.890104
143.001	5.70136

Material Boundary

X	Y
-0.055586	-3.7436
135.655	-0.890104

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
181.638	6.74486
215.445	22.7449
218.523	23.6177
228.751	23.7449
232.702	19.7449
266.47	20.7449
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
228.473	34.7449
249.937	36.6095

Material Boundary

X	Y
218.45	24.1168
228.957	24.2475
232.905	20.2511
266.303	21.2401
285.145	34.7708
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
101.826	17.0163
121.171	16.852
143.001	5.70136
153.461	5.66005

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
164.051	7.74493
157.721	7.74486
153.461	5.66005
164.012	4.36557
165.764	6.74463

Material Boundary

--	--

X	Y
215.722	32.4758
202.384	24.7318
218.45	24.1168
216.896	23.6759

Material Boundary

X	Y
103.321	17.5036
121.294	17.351
143.122	6.20088
153.347	6.1605
157.605	8.24486
164.187	8.24493
165.879	7.24486
181.526	7.24486
215.269	23.2146
216.896	23.6759
200.641	24.2981
214.661	32.4379



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10

2025



VISADO : 03202500128

Validar

icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

2.2.4. ROTURA POLIGONAL

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 1 - Poligonal
Slide Modeler Version: 6.005
Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta
Analysis: Perfil B-B'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 10
Circles per division: 10
Number of iterations: 10

Divisions to use in next iteration: 50%
Number of vertices per surface: 12
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Residuo nuevo - IN	Dique	Sustrato rocoso
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	7	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	27	40	45
Water Surface	Water Table	None	Water Table	Water Table	None	None
Hu Value	1		1	1		
Ru Value		0			0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.793130
Axis Location: 62.347, 133.616
Left Slip Surface Endpoint: 26.973, 2.937
Right Slip Surface Endpoint: 145.665, 26.910
Resisting Moment=1.2696e+006 kN-m
Driving Moment=708033 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.819000
Axis Location: 60.272, 129.517
Left Slip Surface Endpoint: 26.623, 2.927
Right Slip Surface Endpoint: 141.354, 26.644
Resisting Moment=1.12459e+006 kN-m
Driving Moment=618249 kN-m
Resisting Horizontal Force=7873.69 kN
Driving Horizontal Force=4328.59 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 3624
Number of Invalid Surfaces: 878

Error Codes:

Error Code -105 reported for 185 surfaces
Error Code -106 reported for 550 surfaces
Error Code -107 reported for 94 surfaces
Error Code -108 reported for 30 surfaces
Error Code -110 reported for 15 surfaces
Error Code -1000 reported for 4 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 3570

Number of Invalid Surfaces: 932

Error Codes:

Error Code -105 reported for 185 surfaces
Error Code -106 reported for 550 surfaces
Error Code -107 reported for 94 surfaces
Error Code -108 reported for 84 surfaces
Error Code -110 reported for 15 surfaces
Error Code -1000 reported for 4 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
- 106 = Average slice width is less than $0.0001 \times$ (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1 . This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.79313

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	4.87939	120.779	Residuo antiguo	14	20	14.6295	26.2326	33.6088	0	33.6088
2	4.87939	407.69	Residuo antiguo	14	20	24.2169	43.424	98.2128	17.3712	80.8416
3	7.75437	1114.52	Residuo antiguo	14	20	29.7949	53.4262	143.102	34.7788	108.323
4	7.75437	1256.29	Residuo antiguo	14	20	32.3568	58.0199	161.33	40.3866	120.944
5	3.40715	544.269	Residuo antiguo	14	20	30.6967	55.0431	159.098	46.333	112.765
6	1.20502	209.082	Residuo antiguo	14	20	32.9823	59.1415	172.815	48.7901	124.025
7	5.37045	1008.98	Residuo antiguo	14	20	35.178	63.0787	187.137	52.2931	134.843
8	5.37045	1034.46	Residuo antiguo	14	20	34.9805	62.7245	191.884	58.015	133.869
9	4.85765	1030.29	Residuo antiguo	14	20	37.8157	67.8084	211.302	63.4641	147.838
10	4.85765	1167.59	Residuo antiguo	14	20	42.4821	76.1759	239.466	68.6402	170.826
11	2.22116	579.622	Residuo antiguo	14	20	45.9178	82.3366	259.989	72.2355	187.753
12	6.85072	1950.78	Residuo antiguo	14	20	49.6925	89.1052	282.112	75.7624	206.349
13	6.85072	2010.95	Residuo antiguo	14	20	50.4931	90.5407	290.853	80.5598	210.294
14	5.68904	1663.83	Residuo antiguo	14	20	49.6487	89.0266	292.703	86.5702	206.133
15	5.68904	1683.11	Residuo antiguo	14	20	48.8697	87.6297	296.089	93.7933	202.295
16	5.68904	1824.49	Residuo antiguo	14	20	52.4515	94.0523	320.959	101.016	219.943
17	4.25476	1441.25	Residuo antiguo	14	20	52.7923	94.6635	322.384	100.762	221.622
18	4.25476	1454.77	Residuo antiguo	14	20	54.8008	98.2649	324.939	93.4239	231.515
19	4.03767	1347.54	Residuo antiguo	14	20	52.24	93.6731	299.28	80.3796	218.9
20	4.03767	1280.09	Residuo antiguo	14	20	52.7964	94.6708	282.208	60.5657	221.642

SLIDEINTERPRET 6.005

21	4.60052	1303.38	Residuo antiguo	14	20	48.5227	87.0075	230.097	29.5096	200.587
22	0.349273	88.4434	Impermeabilización	5	26	55.1991	98.9791	192.686	0	192.686
23	4.6023	969.909	Residuo nuevo - RNP	5	26	46.2998	83.0215	159.968	0	159.968
24	4.6023	575.277	Residuo nuevo - RNP	5	26	28.3354	50.8091	93.9225	0	93.9225
25	4.62754	190.017	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.8623	19.4775	29.6834	0	29.6834

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.819

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	4.86111	120.269	Residuo antiguo	14	20	14.6572	26.6614	34.7868	0	34.7868
2	4.86111	397.865	Residuo antiguo	14	20	25.0034	45.4811	103.727	17.2336	86.4937
3	7.24506	1014.74	Residuo antiguo	14	20	30.006	54.5809	146.029	34.5337	111.495
4	5.91825	969.064	Residuo antiguo	14	20	34.387	62.55	171.844	38.4538	133.39
5	5.91825	940.601	Residuo antiguo	14	20	32.37	58.8811	168.07	44.7598	123.31
6	4.38374	796.362	Residuo antiguo	14	20	36.0555	65.585	191.974	50.2452	141.729
7	4.38374	836.103	Residuo antiguo	14	20	37.0297	67.3571	201.508	54.91	146.598
8	4.38374	854.793	Residuo antiguo	14	20	36.9428	67.199	205.738	59.5749	146.163
9	4.38374	948.691	Residuo antiguo	14	20	40.3427	73.3834	227.394	64.2397	163.154
10	2.10171	494.519	Residuo antiguo	14	20	43.4758	79.0824	246.517	67.7041	178.812
11	5.55443	1428.05	Residuo antiguo	14	20	46.7999	85.1291	266.775	71.3503	195.425
12	5.20157	1468.18	Residuo antiguo	14	20	48.501	88.2234	277.217	73.289	203.928
13	5.20157	1467.77	Residuo antiguo	14	20	48.338	87.9269	275.233	72.1196	203.113
14	5.20157	1410.9	Residuo antiguo	14	20	46.0253	83.72	262.505	70.9503	191.555
15	5.91825	1546.39	Residuo antiguo	14	20	44.3772	80.7222	254.074	70.756	183.318
16	5.91825	1564.65	Residuo antiguo	14	20	44.2962	80.5747	254.449	71.5367	182.912
17	4.02506	1118.68	Residuo antiguo	14	20	44.1237	80.261	250.884	68.8347	182.05
18	4.02506	1138.19	Residuo antiguo	14	20	46.2042	84.0455	255.098	62.65	192.448
19	7.0802	1956.28	Residuo antiguo	14	20	44.8344	81.5538	233.017	47.4149	185.602
20	5.26071	1320.34	Residuo antiguo	14	20	43.2494	78.6706	195.313	17.6321	177.681
21	0.72728	166.747	Residuo antiguo	14	20	40.7561	74.1353	165.22	0	165.22
22	0.340109	76.9353	Impermeabilización	5	26	45.3291	82.4536	158.803	0	158.803
23	3.9455	754.778	Residuo nuevo - RNP	5	26	39.1132	71.1469	135.621	0	135.621
24	3.9455	453.251	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.8569	45.2147	82.4523	0	82.4523
25	3.9455	151.084	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.86047	17.9362	26.5231	0	26.5231

ist Of Coordinates

Water Table

X	Y
-0.0590492	-1.78426
44.496	0.89
74.88	4.829
115.533	9.893
148.168	15.097
186.992	21.287

SLIDEINTERPRET 6.005

212.593	27.335
243.68	30.008
279.666	30.8366

External Boundary

X	Y
103.321	17.5036
101.826	17.0163
84.9933	16.7449
66.796	9.74486
58.4609	9.28899
53.5944	7.07811
44.6631	7.62944
32.7062	3.10231
20.3063	2.74547
15.4931	1.74486
3.0583	0.236728
-0.0625509	0.196858
-0.055586	-3.7436
-0.0625509	-58.8284
329.578	-58.8284
329.578	42.3045
292.582	33.7449
285.963	34.7431
281.786	36.6257
249.937	36.6095
239.937	35.7408
228.473	34.7449
223.251	32.7449
215.722	32.4758
214.661	32.4379
192.922	31.6609
176.834	28.8303
159.22	27.7449
130.046	25.9471



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Material Boundary

X	Y
135.655	-0.890104
143.001	5.70136

Material Boundary

X	Y
-0.055586	-3.7436
135.655	-0.890104

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463

181.638	6.74486
215.445	22.7449
218.523	23.6177
228.751	23.7449
232.702	19.7449
266.47	20.7449
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
228.473	34.7449
249.937	36.6095

Material Boundary

X	Y
218.45	24.1168
228.957	24.2475
232.905	20.2511
266.303	21.2401
285.145	34.7708
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
101.826	17.0163
121.171	16.852
143.001	5.70136
153.461	5.66005

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
164.051	7.74493
157.721	7.74486
153.461	5.66005
164.012	4.36557
165.764	6.74463

Material Boundary

X	Y
215.722	32.4758
202.384	24.7318
218.45	24.1168
216.896	23.6759

Material Boundary

X	Y
---	---

SLIDEINTERPRET 6.005



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10

2025



VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]

103.321	17.5036
121.294	17.351
143.122	6.20088
153.347	6.1605
157.605	8.24486
164.187	8.24493
165.879	7.24486
181.526	7.24486
215.269	23.2146
216.896	23.6759
200.641	24.2981
214.661	32.4379

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

2.3. SITUACIÓN ACCIDENTAL TIPO 2

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

2.3.1. ROTURA POR LA MASA DE RESIDUO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 2 Circular - Residuo

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil B-B'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search

Radius Increment: 10

Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack

Minimum Elevation: Not Defined

Minimum Depth: Not Defined

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10/2025

VISADO : 03202500128

Validar log.e-gestiones [FV1MFR6ITWBCBRR]



Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Impermeabilización saturado	Residuo nuevo - RNP	Residuo nuevo - IN	Dique	Sustrato rocoso
Color							
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	5	18	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	0	5	7	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	18	26	27	40	45
Water Surface	Water Table	None	None	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1			1	1	1	1
Ru Value		0	0				

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.981680
 Center: 112.434, 49.781
 Radius: 32.965
 Left Slip Surface Endpoint: 104.338, 17.825
 Right Slip Surface Endpoint: 135.559, 26.287
 Resisting Moment=33290.1 kN-m
 Driving Moment=16798.9 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.970560
 Center: 112.434, 49.781
 Radius: 32.965
 Left Slip Surface Endpoint: 104.338, 17.825
 Right Slip Surface Endpoint: 135.559, 26.287
 Resisting Moment=33103.3 kN-m
 Driving Moment=16798.9 kN-m
 Resisting Horizontal Force=936.842 kN
 Driving Horizontal Force=475.419 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1647
 Number of Invalid Surfaces: 3413

Error Codes:

Error Code -103 reported for 296 surfaces
 Error Code -106 reported for 30 surfaces
 Error Code -107 reported for 477 surfaces
 Error Code -108 reported for 21 surfaces
 Error Code -110 reported for 239 surfaces
 Error Code -112 reported for 155 surfaces
 Error Code -113 reported for 61 surfaces
 Error Code -1000 reported for 2134 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 1601
 Number of Invalid Surfaces: 3459

SLIDEINTERPRET 6.005

Error Codes:

Error Code -103 reported for 296 surfaces
Error Code -106 reported for 30 surfaces
Error Code -107 reported for 477 surfaces
Error Code -108 reported for 66 surfaces
Error Code -110 reported for 239 surfaces
Error Code -112 reported for 156 surfaces
Error Code -113 reported for 61 surfaces
Error Code -1000 reported for 2134 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 106 = Average slice width is less than $0.0001 * (\text{maximum horizontal extent of soil region})$. This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1 . This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 113 = Surface intersects outside slope limits.
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slide Data

2/10
2025

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.98168

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.49873	11.0099	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.58938	9.09469	8.39534	0	8.39534
2	1.20083	22.4896	Impermeabilización saturado	0	18	3.1668	6.27559	19.3143	0	19.3143
3	1.20083	32.0463	Impermeabilización saturado	0	18	4.48374	8.88533	27.3463	0	27.3463
4	1.20083	41.3316	Impermeabilización saturado	0	18	5.74684	11.3884	35.0498	0	35.0498
5	1.35805	58.2165	Residuo antiguo	14	20	15.1339	29.9906	43.9337	0	43.9337
6	1.35805	70.2043	Residuo antiguo	14	20	16.6483	32.9916	52.1791	0	52.1791
7	1.35805	80.9737	Residuo antiguo	14	20	17.9759	35.6224	59.4069	0	59.4069
8	1.35805	90.5258	Residuo antiguo	14	20	19.1202	37.8902	65.6377	0	65.6377
9	1.20366	88.0616	Impermeabilización saturado	0	18	11.8164	23.4163	72.0679	0	72.0679
10	1.20366	95.6549	Impermeabilización saturado	0	18	12.7586	25.2835	77.8147	0	77.8147
11	1.20366	102.977	Impermeabilización saturado	0	18	13.6525	27.0549	83.2664	0	83.2664
12	1.21976	109.464	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.4218	46.4145	84.9126	0	84.9126
13	1.21976	111.867	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.6622	46.891	85.8891	0	85.8891
14	1.21976	113.186	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.6878	46.9416	85.9928	0	85.9928
15	1.21976	113.388	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.4968	46.5631	85.2174	0	85.2174
16	1.21976	112.432	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.0866	45.7503	83.551	0	83.551
17	1.21976	110.268	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.4536	44.4959	80.9787	0	80.9787
18	1.21976	106.838	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.5928	42.7901	77.481	0	77.481

SLIDEINTERPRET 6.005

19	1.21976	102.071	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.4981	40.6207	73.0332	0	73.0332
20	1.21976	95.8826	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.1618	37.9726	67.6038	0	67.6038
21	1.21976	87.2514	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.4144	34.5097	60.5038	0	60.5038
22	1.21976	71.8657	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.53	28.7939	48.7847	0	48.7847
23	1.21976	53.8901	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.2674	22.3284	35.5286	0	35.5286
24	1.21976	33.918	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.75201	15.362	21.2453	0	21.2453
25	1.21976	11.7029	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.97045	7.86816	5.88061	0	5.88061

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.97056

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.49873	11.0099	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.70128	9.26415	8.7428	0	8.7428
2	1.20083	22.4896	Impermeabilización saturado	0	18	3.34228	6.58616	20.2701	0	20.2701
3	1.20083	32.0463	Impermeabilización saturado	0	18	4.79189	9.44271	29.0617	0	29.0617
4	1.20083	41.3316	Impermeabilización saturado	0	18	6.19387	12.2054	37.5644	0	37.5644
5	1.35805	58.2165	Residuo antiguo	14	20	16.1377	31.8003	48.9058	0	48.9058
6	1.35805	70.2043	Residuo antiguo	14	20	17.87	35.214	58.2851	0	58.2851
7	1.35805	80.9737	Residuo antiguo	14	20	19.3137	38.0589	66.1013	0	66.1013
8	1.35805	90.5258	Residuo antiguo	14	20	20.4584	40.3145	72.2984	0	72.2984
9	1.20366	88.0616	Impermeabilización saturado	0	18	12.4681	24.5691	75.6159	0	75.6159
10	1.20366	95.6549	Impermeabilización saturado	0	18	13.219	26.0489	80.1703	0	80.1703
11	1.20366	102.977	Impermeabilización saturado	0	18	13.8784	27.3482	84.1693	0	84.1693
12	1.21976	109.464	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.1084	47.5071	87.1528	0	87.1528
13	1.21976	111.867	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.9409	47.177	86.4758	0	86.4758
14	1.21976	113.186	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.5595	46.4254	84.9346	0	84.9346
15	1.21976	113.388	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.994	45.311	82.6502	0	82.6502
16	1.21976	112.432	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.2689	43.8823	79.7203	0	79.7203
17	1.21976	110.268	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.4021	42.1741	76.2186	0	76.2186
18	1.21976	106.838	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.4033	40.2059	72.1828	0	72.1828
19	1.21976	102.071	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.274	37.9806	67.6203	0	67.6203
20	1.21976	95.8826	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.0071	35.4841	62.5018	0	62.5018
21	1.21976	87.2514	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.4326	32.3814	56.1402	0	56.1402
22	1.21976	71.8657	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.8313	27.2554	45.6303	0	45.6303
23	1.21976	53.8901	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.8748	21.4294	33.6852	0	33.6852
24	1.21976	33.918	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.62113	15.0179	20.5398	0	20.5398
25	1.21976	11.7029	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.97704	7.837	5.81672	0	5.81672

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-0.0590492	-1.78426
44.496	0.89
74.88	4.829
115.533	9.893
148.168	15.097
186.992	21.287
212.593	27.335
243.68	30.008

SLIDEINTERPRET 6.005

External Boundary

X	Y
103.321	17.5036
101.826	17.0163
84.9933	16.7449
66.796	9.74486
58.4609	9.28899
53.5944	7.07811
44.6631	7.62944
32.7062	3.10231
20.3063	2.74547
15.4931	1.74486
3.0583	0.236728
-0.0625509	0.196858
-0.055586	-3.7436
-0.0625509	-58.8284
329.578	-58.8284
329.578	42.3045
292.582	33.7449
285.963	34.7431
281.786	36.6257
249.937	36.6095
239.937	35.7408
228.473	34.7449
223.251	32.7449
215.722	32.4758
214.661	32.4379
192.922	31.6609
176.834	28.8303
159.22	27.7449
130.046	25.9471



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Material Boundary

X	Y
135.655	-0.890104
143.001	5.70136

Material Boundary

X	Y
-0.055586	-3.7436
135.655	-0.890104

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
181.638	6.74486
215.445	22.7449
218.523	23.6177
228.751	23.7449
232.702	19.7449
266.47	20.7449

SLIDEINTERPRET 6.005

285.963	34.7431
---------	---------

Material Boundary

X	Y
228.473	34.7449
249.937	36.6095

Material Boundary

X	Y
218.45	24.1168
228.957	24.2475
232.905	20.2511
266.303	21.2401
285.145	34.7708
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
101.826	17.0163
121.171	16.852
143.001	5.70136
153.461	5.66005

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
164.051	7.74493
157.721	7.74486
153.461	5.66005
164.012	4.36557
165.764	6.74463

Material Boundary

X	Y
215.722	32.4758
202.384	24.7318
218.45	24.1168
216.896	23.6759

Material Boundary

X	Y
103.321	17.5036
121.294	17.351
143.122	6.20088
153.347	6.1605
157.605	8.24486
164.187	8.24493
165.879	7.24486
181.526	7.24486
215.269	23.2146
216.896	23.6759



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



200.641	24.2981
214.661	32.4379



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025



VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR61TWBCBRR]

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

2.3.2. ROTURA CONTACTO VERTEDERO-TERRENO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 2 Circular - vertedero y terreno

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil B-B'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search

Radius Increment: 10

Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack

Minimum Elevation: Not Defined

Minimum Depth: Not Defined

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10/2025

VISADO : 03202500128

Validar log.e-gestiones [FV1MFR6ITWBCBRR]



Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Impermeabilización saturado	Residuo nuevo - RNP	Residuo nuevo - IN	Dique	Sustrato rocoso
Color							
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	5	18	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	0	5	7	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	18	26	27	40	45
Water Surface	Water Table	None	None	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1			1	1	1	1
Ru Value		0	0				

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.981370
 Center: 76.244, 122.187
 Radius: 123.944
 Left Slip Surface Endpoint: 36.848, 4.670
 Right Slip Surface Endpoint: 156.298, 27.565
 Resisting Moment=1.11799e+006 kN-m
 Driving Moment=564251 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.980570
 Center: 76.244, 122.187
 Radius: 123.944
 Left Slip Surface Endpoint: 36.848, 4.670
 Right Slip Surface Endpoint: 156.298, 27.565
 Resisting Moment=1.11754e+006 kN-m
 Driving Moment=564251 kN-m
 Resisting Horizontal Force=8532.96 kN
 Driving Horizontal Force=4308.34 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1419
 Number of Invalid Surfaces: 3641

Error Codes:

Error Code -101 reported for 10 surfaces
 Error Code -103 reported for 537 surfaces
 Error Code -109 reported for 1 surface
 Error Code -110 reported for 349 surfaces
 Error Code -112 reported for 84 surfaces
 Error Code -118 reported for 86 surfaces
 Error Code -1000 reported for 2574 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 1417
 Number of Invalid Surfaces: 3643

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Error Codes:

Error Code -101 reported for 10 surfaces
Error Code -103 reported for 537 surfaces
Error Code -108 reported for 2 surfaces
Error Code -109 reported for 1 surface
Error Code -110 reported for 349 surfaces
Error Code -112 reported for 84 surfaces
Error Code -118 reported for 86 surfaces
Error Code -1000 reported for 2574 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 118 = Surface does not pass through the search focus
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

2/10 Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.98137
2025

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	4.9991	138.054	Residuo antiguo	14	20	12.8754	25.5109	31.6258	0	31.6258
2	4.9991	388.273	Residuo antiguo	14	20	22.4292	44.4406	83.6349	0	83.6349
3	4.9991	489.239	Residuo antiguo	14	20	25.5542	50.6323	103.54	2.8933	100.646
4	4.9991	588.513	Residuo antiguo	14	20	26.0391	51.5931	122.392	19.1061	103.286
5	4.9991	784.382	Residuo antiguo	14	20	30.5537	60.5382	161.105	33.242	127.863
6	4.9991	861.422	Residuo antiguo	14	20	30.9381	61.2998	175.296	45.3411	129.955
7	4.9991	980.928	Residuo antiguo	14	20	33.2685	65.9173	198.074	55.4323	142.642
8	4.9991	1148.96	Residuo antiguo	14	20	37.7207	74.7386	230.412	63.5343	166.878
9	4.9991	1300.85	Residuo antiguo	14	20	41.9197	83.0584	259.17	69.4335	189.736
10	4.9991	1426.53	Residuo antiguo	14	20	45.4695	90.0919	282.384	73.3239	209.061
11	4.9991	1427.96	Residuo antiguo	14	20	44.8453	88.8552	280.885	75.2216	205.664
12	4.9991	1383.65	Residuo antiguo	14	20	42.9499	85.0996	270.449	75.1055	195.344
13	4.9991	1322.67	Residuo antiguo	14	20	40.8476	80.9342	256.843	72.9441	183.899
14	4.9991	1286.44	Residuo antiguo	14	20	40.0099	79.2745	248.035	68.6944	179.341
15	4.9991	1322.45	Residuo antiguo	14	20	42.0772	83.3705	252.895	62.3009	190.594
16	4.9991	1345.01	Residuo antiguo	14	20	44.0178	87.2155	254.851	53.694	201.157
17	4.9991	1348.56	Residuo antiguo	14	20	45.4303	90.0142	252.937	44.0886	208.848
18	4.9991	1344.91	Residuo antiguo	14	20	46.8953	92.917	249.311	32.4894	216.822
19	4.9991	1326.29	Residuo antiguo	14	20	48.2341	95.5696	242.469	18.3579	224.112
20	0.552766	142.528	Impermeabilización saturado	0	18	39.0542	77.3809	238.154	0	238.154
21	4.78294	1142.51	Residuo nuevo - RNP	5	26	54.1862	107.363	209.875	0	209.875
22	4.78294	935.165	Residuo nuevo - RNP	5	26	44.1954	87.5674	169.288	0	169.288

23	4.78294	702.721	Residuo nuevo - RNP	5	26	33.3046	65.9888	125.046	0	125.046
24	4.78294	442.92	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.479	42.5579	77.0051	0	77.0051
25	4.78294	152.934	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.67839	17.1951	25.0037	0	25.0037

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.98057

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	4.9991	138.054	Residuo antiguo	14	20	13.0073	25.7618	32.3152	0	32.3152
2	4.9991	388.273	Residuo antiguo	14	20	23.0536	45.6593	86.9832	0	86.9832
3	4.9991	489.239	Residuo antiguo	14	20	26.7119	52.9047	109.783	2.8933	106.89
4	4.9991	588.513	Residuo antiguo	14	20	27.6527	54.7681	131.116	19.1061	112.01
5	4.9991	784.382	Residuo antiguo	14	20	32.6866	64.7381	172.644	33.242	139.402
6	4.9991	861.422	Residuo antiguo	14	20	33.2805	65.9143	187.974	45.3411	142.633
7	4.9991	980.928	Residuo antiguo	14	20	35.71	70.7261	211.286	55.4323	155.853
8	4.9991	1148.96	Residuo antiguo	14	20	40.1428	79.5056	243.509	63.5343	179.975
9	4.9991	1300.85	Residuo antiguo	14	20	44.0975	87.3382	270.928	69.4335	201.495
10	4.9991	1426.53	Residuo antiguo	14	20	47.1819	93.4471	291.602	73.3239	218.278
11	4.9991	1427.96	Residuo antiguo	14	20	45.8597	90.8284	286.306	75.2216	211.084
12	4.9991	1383.65	Residuo antiguo	14	20	43.215	85.5903	271.799	75.1055	196.693
13	4.9991	1322.67	Residuo antiguo	14	20	40.4072	80.0292	254.357	72.9441	181.413
14	4.9991	1286.44	Residuo antiguo	14	20	38.9533	77.1498	242.196	68.6944	173.502
15	4.9991	1322.45	Residuo antiguo	14	20	40.4779	80.1694	244.099	62.3009	181.798
16	4.9991	1345.01	Residuo antiguo	14	20	41.9964	83.1768	243.756	53.694	190.062
17	4.9991	1348.56	Residuo antiguo	14	20	43.1407	85.4432	240.377	44.0886	196.288
18	4.9991	1344.91	Residuo antiguo	14	20	44.5111	88.1574	236.235	32.4894	203.745
19	4.9991	1326.29	Residuo antiguo	14	20	45.9505	91.0082	229.936	18.3579	211.579
20	0.552766	142.528	Impermeabilización saturado	0	18	36.936	73.1543	225.146	0	225.146
21	4.78294	1142.51	Residuo nuevo - RNP	5	26	51.9745	102.939	200.804	0	200.804
22	4.78294	935.165	Residuo nuevo - RNP	5	26	42.5405	84.2545	162.496	0	162.496
23	4.78294	702.721	Residuo nuevo - RNP	5	26	32.2869	63.9465	120.858	0	120.858
24	4.78294	442.92	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.0485	41.688	75.2214	0	75.2214
25	4.78294	152.934	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.61701	17.0666	24.7402	0	24.7402

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-0.0590492	-1.78426
44.496	0.89
74.88	4.829
115.533	9.893
148.168	15.097
186.992	21.287
212.593	27.335
243.68	30.008
279.666	30.8366

Focus Search Line

X	Y
53.5944	7.07811
143.122	6.20088

External Boundary

X	Y
103.321	17.5036
101.826	17.0163
84.9933	16.7449
66.796	9.74486
58.4609	9.28899
53.5944	7.07811
44.6631	7.62944
32.7062	3.10231
20.3063	2.74547
15.4931	1.74486
3.0583	0.236728
-0.0625509	0.196858
-0.055586	-3.7436
-0.0625509	-58.8284
329.578	-58.8284
329.578	42.3045
292.582	33.7449
285.963	34.7431
281.786	36.6257
249.937	36.6095
239.937	35.7408
228.473	34.7449
223.251	32.7449
215.722	32.4758
214.661	32.4379
192.922	31.6609
176.834	28.8303
159.22	27.7449
130.046	25.9471



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

Material Boundary

X	Y
135.655	-0.890104
143.001	5.70136

Material Boundary

X	Y
-0.055586	-3.7436
135.655	-0.890104

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
181.638	6.74486
215.445	22.7449
218.523	23.6177
228.751	23.7449
232.702	19.7449
266.47	20.7449
285.963	34.7431

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestiones.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Material Boundary

X	Y
228.473	34.7449
249.937	36.6095

Material Boundary

X	Y
218.45	24.1168
228.957	24.2475
232.905	20.2511
266.303	21.2401
285.145	34.7708
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
101.826	17.0163
121.171	16.852
143.001	5.70136
153.461	5.66005

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
164.051	7.74493
157.721	7.74486
153.461	5.66005
164.012	4.36557
165.764	6.74463

Material Boundary

X	Y
215.722	32.4758
202.384	24.7318
218.45	24.1168
216.896	23.6759

Material Boundary

X	Y
103.321	17.5036
121.294	17.351
143.122	6.20088
153.347	6.1605
157.605	8.24486
164.187	8.24493
165.879	7.24486
181.526	7.24486
215.269	23.2146
216.896	23.6759
200.641	24.2981
214.661	32.4379



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]	2/10 2025	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Habilitación Profesional Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez 
--	----------------------	---


ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional
2/10 2025
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 

2.3.3. ESTABILIDAD CONJUNTA DEL VERTEDERO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 2 - Circular - global
Slide Modeler Version: 6.005
Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta
Analysis: Perfil B-B'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10/2025

VISADO : 03202500128

Validar log.e-gestiones [FV1MFR6ITWBCBRR]



Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Impermeabilización saturado	Residuo nuevo - RNP	Residuo nuevo - IN	Dique	Sustrato rocoso
Color							
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	5	18	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	0	5	7	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	18	26	27	40	45
Water Surface	Water Table	None	None	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1			1	1	1	1
Ru Value		0	0				

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.862630
 Center: 112.434, 49.781
 Radius: 32.777
 Left Slip Surface Endpoint: 104.681, 17.933
 Right Slip Surface Endpoint: 135.272, 26.269
 Resisting Moment=29540.3 kN-m
 Driving Moment=15859.5 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.850890
 Center: 112.434, 49.781
 Radius: 32.777
 Left Slip Surface Endpoint: 104.681, 17.933
 Right Slip Surface Endpoint: 135.272, 26.269
 Resisting Moment=29354.1 kN-m
 Driving Moment=15859.5 kN-m
 Resisting Horizontal Force=832.918 kN
 Driving Horizontal Force=450.009 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1850
 Number of Invalid Surfaces: 3210

Error Codes:

Error Code -103 reported for 912 surfaces
 Error Code -106 reported for 10 surfaces
 Error Code -107 reported for 93 surfaces
 Error Code -108 reported for 6 surfaces
 Error Code -110 reported for 893 surfaces
 Error Code -112 reported for 152 surfaces
 Error Code -1000 reported for 1144 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 1826
 Number of Invalid Surfaces: 3234



Error Codes:

Error Code -103 reported for 912 surfaces
Error Code -106 reported for 10 surfaces
Error Code -107 reported for 93 surfaces
Error Code -108 reported for 27 surfaces
Error Code -110 reported for 893 surfaces
Error Code -112 reported for 155 surfaces
Error Code -1000 reported for 1144 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.86263

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.11126	6.01325	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.35814	8.1176	6.39203	0	6.39203
2	1.11126	17.6384	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.19666	13.4047	17.2322	0	17.2322
3	1.16799	28.9121	Impermeabilización saturado	0	18	4.43621	8.26302	25.431	0	25.431
4	1.16799	37.7371	Impermeabilización saturado	0	18	5.75256	10.7149	32.9771	0	32.9771
5	1.16799	46.314	Impermeabilización saturado	0	18	7.01487	13.0661	40.2133	0	40.2133
6	1.16799	54.6453	Impermeabilización saturado	0	18	8.22461	15.3194	47.1483	0	47.1483
7	1.16799	62.7326	Impermeabilización saturado	0	18	9.38297	17.477	53.7888	0	53.7888
8	1.16799	70.5767	Impermeabilización saturado	0	18	10.4909	19.5407	60.1401	0	60.1401
9	1.16799	78.1772	Impermeabilización saturado	0	18	11.549	21.5116	66.2057	0	66.2057
10	1.16799	85.533	Impermeabilización saturado	0	18	12.5577	23.3904	71.9882	0	71.9882
11	1.16799	92.642	Impermeabilización saturado	0	18	13.5171	25.1774	77.4881	0	77.4881
12	1.27547	107.059	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.5887	43.937	79.8326	0	79.8326
13	1.27547	110.612	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.0385	44.7748	81.5507	0	81.5507
14	1.27547	112.943	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.2379	45.1462	82.3122	0	82.3122
15	1.27547	114.018	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.1862	45.05	82.1148	0	82.1148
16	1.27547	113.794	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.8816	44.4825	80.9515	0	80.9515
17	1.27547	112.216	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.3206	43.4377	78.8092	0	78.8092
18	1.27547	109.223	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.4987	41.9067	75.6702	0	75.6702

SLIDEINTERPRET 6.005

19	1.27547	104.735	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.4096	39.8782	71.511	0	71.511
20	1.27547	98.6597	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.0456	37.3375	66.3016	0	66.3016
21	1.27547	90.8474	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.3905	34.2547	59.9811	0	59.9811
22	1.27547	76.8172	Residuo nuevo - RNP	5	26	15.6758	29.1983	49.614	0	49.614
23	1.27547	57.7355	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.1534	22.6373	36.1618	0	36.1618
24	1.27547	36.4189	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.34771	15.5487	21.628	0	21.628
25	1.27547	12.5856	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.24458	7.90609	5.95836	0	5.95836

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.85089

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.11126	6.01325	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.44877	8.23419	6.63107	0	6.63107
2	1.11126	17.6384	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.52681	13.9313	18.3118	0	18.3118
3	1.16799	28.9121	Impermeabilización saturado	0	18	4.74883	8.78957	27.0515	0	27.0515
4	1.16799	37.7371	Impermeabilización saturado	0	18	6.21733	11.5076	35.4169	0	35.4169
5	1.16799	46.314	Impermeabilización saturado	0	18	7.62201	14.1075	43.4186	0	43.4186
6	1.16799	54.6453	Impermeabilización saturado	0	18	8.94364	16.5537	50.9471	0	50.9471
7	1.16799	62.7326	Impermeabilización saturado	0	18	10.1671	18.8181	57.9161	0	57.9161
8	1.16799	70.5767	Impermeabilización saturado	0	18	11.2821	20.882	64.2684	0	64.2684
9	1.16799	78.1772	Impermeabilización saturado	0	18	12.2846	22.7374	69.9787	0	69.9787
10	1.16799	85.533	Impermeabilización saturado	0	18	13.1756	24.3866	75.0544	0	75.0544
11	1.16799	92.642	Impermeabilización saturado	0	18	13.9618	25.8417	79.5325	0	79.5325
12	1.27547	107.059	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.7291	45.7709	83.5927	0	83.5927
13	1.27547	110.612	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.7896	45.8828	83.8225	0	83.8225
14	1.27547	112.943	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.5607	45.4591	82.9537	0	82.9537
15	1.27547	114.018	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.0834	44.5758	81.1426	0	81.1426
16	1.27547	113.794	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.3944	43.3004	78.5273	0	78.5273
17	1.27547	112.216	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.5223	41.6863	75.2181	0	75.2181
18	1.27547	109.223	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.4866	39.7694	71.2879	0	71.2879
19	1.27547	104.735	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.2962	37.566	66.7701	0	66.7701
20	1.27547	98.6597	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.9482	35.071	61.6548	0	61.6548
21	1.27547	90.8474	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.4223	32.2467	55.8641	0	55.8641
22	1.27547	76.8172	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.9615	27.6921	46.5256	0	46.5256
23	1.27547	57.7355	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.7518	21.7512	34.3451	0	34.3451
24	1.27547	36.4189	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.2214	15.2169	20.9478	0	20.9478
25	1.27547	12.5856	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.26321	7.89073	5.92687	0	5.92687



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6tWBCBRR]



List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-0.0590492	-1.78426
44.496	0.89
74.88	4.829
115.533	9.893
148.168	15.097

SLIDEINTERPRET 6.005

186.992	21.287
212.593	27.335
243.68	30.008
279.666	30.8366

External Boundary

X	Y
103.321	17.5036
101.826	17.0163
84.9933	16.7449
66.796	9.74486
58.4609	9.28899
53.5944	7.07811
44.6631	7.62944
32.7062	3.10231
20.3063	2.74547
15.4931	1.74486
3.0583	0.236728
-0.0625509	0.196858
-0.055586	-3.7436
-0.0625509	-58.8284
329.578	-58.8284
329.578	42.3045
292.582	33.7449
285.963	34.7431
281.786	36.6257
249.937	36.6095
239.937	35.7408
228.473	34.7449
223.251	32.7449
215.722	32.4758
214.661	32.4379
192.922	31.6609
176.834	28.8303
159.22	27.7449
130.046	25.9471



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Material Boundary

X	Y
135.655	-0.890104
143.001	5.70136

Material Boundary

X	Y
-0.055586	-3.7436
135.655	-0.890104

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
181.638	6.74486
215.445	22.7449
218.523	23.6177

228.751	23.7449
232.702	19.7449
266.47	20.7449
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
228.473	34.7449
249.937	36.6095



Material Boundary

X	Y
218.45	24.1168
228.957	24.2475
232.905	20.2511
266.303	21.2401
285.145	34.7708
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
101.826	17.0163
121.171	16.852
143.001	5.70136
153.461	5.66005

2/10
2025

Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
164.051	7.74493
157.721	7.74486
153.461	5.66005
164.012	4.36557
165.764	6.74463

Material Boundary

X	Y
215.722	32.4758
202.384	24.7318
218.45	24.1168
216.896	23.6759

Material Boundary

X	Y
103.321	17.5036
121.294	17.351
143.122	6.20088
153.347	6.1605
157.605	8.24486
164.187	8.24493
165.879	7.24486

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestiones [FV1MFR6ITWBCBRR]



SLIDEINTERPRET 6.005

181.526	7.24486
215.269	23.2146
216.896	23.6759
200.641	24.2981
214.661	32.4379



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10

2025



VISADO : 03202500128

Validar

icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

2.3.4. ROTURA POLIGONAL

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 2 - Poligonal
Slide Modeler Version: 6.005
Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta
Analysis: Perfil B-B'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 10
Circles per division: 10
Number of iterations: 10
Divisions to use in next iteration: 50%
Number of vertices per surface: 12
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10/2025

VISADO : 03202500128

Validar log.e-gestiones [FV1MFR6ITWBCBRR]



Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Impermeabilización saturado	Residuo nuevo - RNP	Residuo nuevo - IN	Dique	Sustrato rocoso
Color							
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	5	18	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	0	5	7	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	18	26	27	40	45
Water Surface	Water Table	None	None	Water Table	Water Table	None	Water Table
Hu Value	1			1	1		1
Ru Value		0	0			0	

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.761590
 Axis Location: 61.482, 132.543
 Left Slip Surface Endpoint: 26.542, 2.925
 Right Slip Surface Endpoint: 144.213, 26.820
 Resisting Moment=1.19501e+006 kN-m
 Driving Moment=678372 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.776390
 Axis Location: 60.622, 130.725
 Left Slip Surface Endpoint: 26.450, 2.922
 Right Slip Surface Endpoint: 142.362, 26.706
 Resisting Moment=1.14201e+006 kN-m
 Driving Moment=642883 kN-m
 Resisting Horizontal Force=7906.31 kN
 Driving Horizontal Force=4450.77 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 3724
 Number of Invalid Surfaces: 778

Error Codes:

Error Code -105 reported for 173 surfaces
 Error Code -106 reported for 410 surfaces
 Error Code -107 reported for 74 surfaces
 Error Code -108 reported for 39 surfaces
 Error Code -110 reported for 78 surfaces
 Error Code -1000 reported for 4 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 3621
 Number of Invalid Surfaces: 881

Error Codes:

Error Code -105 reported for 173 surfaces



Error Code -106 reported for 410 surfaces
 Error Code -107 reported for 74 surfaces
 Error Code -108 reported for 142 surfaces
 Error Code -110 reported for 78 surfaces
 Error Code -1000 reported for 4 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
- 106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.76159

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	4.27148	99.946	Residuo antiguo	14	20	14.7857	26.0464	33.0972	0	33.0972
2	4.27148	315.672	Residuo antiguo	14	20	23.3985	41.2186	89.2507	14.4683	74.7824
3	0.481364	52.5177	Impermeabilización saturado	0	18	22.8933	40.3286	124.119	0	124.119
4	5.9592	764.983	Impermeabilización saturado	0	18	23.5859	41.5487	127.874	0	127.874
5	5.9592	940.434	Impermeabilización saturado	0	18	28.9955	51.0781	157.202	0	157.202
6	7.08759	1102.89	Impermeabilización saturado	0	18	28.5906	50.365	155.007	0	155.007
7	7.08759	1264.76	Impermeabilización saturado	0	18	32.7869	57.757	177.757	0	177.757
8	5.91235	1118	Impermeabilización saturado	0	18	34.7433	61.2035	188.366	0	188.366
9	5.91235	1252.05	Impermeabilización saturado	0	18	38.9091	68.5419	210.951	0	210.951
10	5.91235	1455.74	Impermeabilización saturado	0	18	45.2391	79.6928	245.27	0	245.27
11	3.37996	921.294	Impermeabilización saturado	0	18	49.3107	86.8652	267.344	0	267.344
12	1.13077	321.392	Residuo antiguo	14	20	50.2923	88.5944	278.888	73.9422	204.946
13	7.19776	2061.78	Residuo antiguo	14	20	50.5338	89.0199	280.177	74.0617	206.115
14	5.08333	1422.81	Residuo antiguo	14	20	49.646	87.4559	278.1	76.282	201.818
15	5.08333	1414.51	Residuo antiguo	14	20	48.4074	85.274	276.511	80.6886	195.823
16	5.08333	1438.51	Residuo antiguo	14	20	48.4721	85.3879	281.232	85.0952	196.136
17	5.08333	1561.99	Residuo antiguo	14	20	52.5499	92.5714	305.375	89.5017	215.873
18	4.25217	1361.94	Residuo antiguo	14	20	52.3207	92.1677	301.626	86.8619	214.765
19	4.25217	1361.86	Residuo antiguo	14	20	54.0304	95.1795	300.997	77.9575	223.04
20	6.97312	2115.09	Residuo antiguo	14	20	51.7309	91.1287	267.566	55.6564	211.909
21	3.72911	996.383	Residuo antiguo	14	20	48.016	84.5845	214.087	20.1581	193.929
22	0.347272	84.9321	Impermeabilización saturado	0	18	37.4672	66.0018	203.133	0	203.133
23	4.40105	896.009	Residuo nuevo - RNP	5	26	45.3269	79.8475	153.46	0	153.46
24	4.40105	531.906	Residuo nuevo - RNP	5	26	27.7909	48.9561	90.1234	0	90.1234

SLIDEINTERPRET 6.005

25	4.41813	175.606	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.6994	18.8479	28.3924	0	28.3924
----	---------	---------	---------------------	---	----	---------	---------	---------	---	---------

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.77639

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	4.19449	97.9772	Residuo antiguo	14	20	14.9236	26.5101	34.3713	0	34.3713
2	4.19449	306.668	Residuo antiguo	14	20	24.4845	43.494	95.3655	14.3314	81.0341
3	1.95398	218.637	Impermeabilización saturado	0	18	22.1977	39.4318	121.359	0	121.359
4	5.51904	740.326	Impermeabilización saturado	0	18	25.5524	45.391	139.699	0	139.699
5	5.51904	879.507	Impermeabilización saturado	0	18	30.4728	54.1316	166.6	0	166.6
6	5.51904	858.909	Impermeabilización saturado	0	18	29.9936	53.2803	163.98	0	163.98
7	5.51904	933.195	Impermeabilización saturado	0	18	32.6675	58.0303	178.599	0	178.599
8	5.51904	1033.12	Impermeabilización saturado	0	18	36.1655	64.244	197.722	0	197.722
9	5.51904	1075.35	Impermeabilización saturado	0	18	37.6221	66.8316	205.686	0	205.686
10	3.91462	859.486	Impermeabilización saturado	0	18	42.2331	75.0224	230.895	0	230.895
11	3.91462	948.782	Impermeabilización saturado	0	18	46.4448	82.5041	253.921	0	253.921
12	3.79631	1002.66	Impermeabilización saturado	0	18	48.7588	86.6146	266.571	0	266.571
13	1.40959	391.438	Residuo antiguo	14	20	50.1894	89.156	279.247	72.7573	206.489
14	4.65624	1330.13	Residuo antiguo	14	20	50.5415	89.7814	280.75	72.5412	208.209
15	4.65624	1298.74	Residuo antiguo	14	20	48.9964	87.0368	272.396	71.7283	200.668
16	6.25944	1687.49	Residuo antiguo	14	20	47.3937	84.1897	264.656	71.812	192.844
17	6.25944	1639.48	Residuo antiguo	14	20	45.0354	80.0005	254.128	72.7923	181.335
18	6.25944	1739.74	Residuo antiguo	14	20	47.4951	84.3699	267.113	73.7725	193.341
19	4.83673	1407.81	Residuo antiguo	14	20	46.4545	82.5213	257.46	69.1993	188.261
20	4.83673	1414.73	Residuo antiguo	14	20	48.6642	86.4466	259.061	60.0161	199.045
21	7.16558	2001.91	Residuo antiguo	14	20	46.6868	82.934	228.291	38.8967	189.394
22	2.40496	610.878	Residuo antiguo	14	20	43.7804	77.7711	186.431	11.2208	175.21
23	0.354202	85.2982	Impermeabilización saturado	0	18	33.967	60.3387	185.703	0	185.703
24	6.5236	1185.87	Residuo nuevo - RNP	5	26	38.7618	68.856	130.924	0	130.924
25	5.20623	318.422	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.9704	24.8169	40.6307	0	40.6307



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar [coog.e-gestion.es \[FV1MFR6ITWBCBRR\]](https://coog.e-gestion.es/FV1MFR6ITWBCBRR)



List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-0.0590492	-1.78426
44.496	0.89
74.88	4.829
115.533	9.893
148.168	15.097
186.992	21.287
212.593	27.335
243.68	30.008
279.666	30.8366

External Boundary

X	Y
103.321	17.5036
101.826	17.0163
84.9933	16.7449
66.796	9.74486
58.4609	9.28899
53.5944	7.07811
44.6631	7.62944
32.7062	3.10231
20.3063	2.74547
15.4931	1.74486
3.0583	0.236728
-0.0625509	0.196858
-0.0562118	-3.38956
-0.055586	-3.7436
-0.0625509	-58.8284
329.578	-58.8284
329.578	42.3045
292.582	33.7449
285.963	34.7431
281.786	36.6257
249.937	36.6095
239.937	35.7408
228.473	34.7449
223.251	32.7449
215.722	32.4758
214.661	32.4379
192.922	31.6609
176.834	28.8303
159.22	27.7449
130.046	25.9471



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
181.638	6.74486
215.445	22.7449
218.523	23.6177
228.751	23.7449
232.702	19.7449
266.47	20.7449
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
228.473	34.7449
249.937	36.6095

Material Boundary

X	Y
218.45	24.1168
228.957	24.2475

232.905	20.2511
266.303	21.2401
285.145	34.7708
285.963	34.7431

Material Boundary

X	Y
101.826	17.0163
121.171	16.852
142.67	5.87068



Material Boundary

X	Y
165.764	6.74463
164.051	7.74493
157.721	7.74486
153.461	5.66005
164.012	4.36557
165.764	6.74463

Material Boundary

X	Y
215.722	32.4758
202.384	24.7318
218.45	24.1168
216.896	23.6759

Material Boundary

X	Y
103.321	17.5036
121.294	17.351
143.122	6.20088
153.347	6.1605
157.605	8.24486
164.187	8.24493
165.879	7.24486
181.526	7.24486
215.269	23.2146
216.896	23.6759
200.641	24.2981
214.661	32.4379

Material Boundary

X	Y
-0.0562118	-3.38956
135.6	-0.646
142.67	5.87068
143.001	5.70136
135.655	-0.890104
-0.055586	-3.7436

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

Material Boundary

X	Y
143.001	5.70136
153.461	5.66005



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]



	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

3. PERFIL C-C´

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

3.1. SITUACIÓN NORMAL

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

3.1.1. ROTURA POR LA MASA DE RESIDUO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Circular - Residuo

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil C-C'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	40	45
Water Surface	None	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.507550
Center: 44.873, -7.216
Radius: 32.729
Left Slip Surface Endpoint: 44.530, -39.943
Right Slip Surface Endpoint: 68.814, -29.532
Resisting Moment=23453.8 kN-m
Driving Moment=15557.6 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.505790
Center: 44.873, -7.216
Radius: 32.729
Left Slip Surface Endpoint: 44.530, -39.943
Right Slip Surface Endpoint: 68.814, -29.532
Resisting Moment=23426.5 kN-m
Driving Moment=15557.6 kN-m
Resisting Horizontal Force=646.431 kN
Driving Horizontal Force=429.296 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1259
Number of Invalid Surfaces: 3592

Error Codes:

Error Code -103 reported for 377 surfaces
Error Code -106 reported for 2 surfaces
Error Code -107 reported for 1087 surfaces

Error Code -108 reported for 46 surfaces
Error Code -112 reported for 58 surfaces
Error Code -113 reported for 42 surfaces
Error Code -1000 reported for 1980 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 1211
Number of Invalid Surfaces: 3640

Error Codes:

Error Code -103 reported for 377 surfaces
Error Code -106 reported for 2 surfaces
Error Code -107 reported for 1087 surfaces
Error Code -108 reported for 93 surfaces
Error Code -112 reported for 59 surfaces
Error Code -113 reported for 42 surfaces
Error Code -1000 reported for 1980 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
-106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
-107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
-112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
-113 = Surface intersects outside slope limits.
-1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.50755

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.971377	4.19488	Residuo nuevo - RNP	6	26	5.3696	8.09494	4.29527	0	4.29527
2	0.971377	12.3324	Residuo nuevo - RNP	6	26	7.99958	12.0598	12.4243	0	12.4243
3	0.971377	19.9647	Residuo nuevo - RNP	6	26	10.415	15.7012	19.8903	0	19.8903
4	0.971377	27.0895	Residuo nuevo - RNP	6	26	12.6207	19.0263	26.7078	0	26.7078
5	0.971377	33.7033	Residuo nuevo - RNP	6	26	14.6205	22.0411	32.8892	0	32.8892
			Residuo nuevo							

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

2/10 2025

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]




			- RNP							
7	0.971377	45.3761	Residuo nuevo - RNP	6	26	18.015	27.1585	43.3814	0	43.3814
8	0.971377	50.4206	Residuo nuevo - RNP	6	26	19.4141	29.2678	47.706	0	47.706
9	0.971377	54.9245	Residuo nuevo - RNP	6	26	20.6164	31.0802	51.4222	0	51.4222
10	0.971377	58.8763	Residuo nuevo - RNP	6	26	21.6224	32.5969	54.5318	0	54.5318
11	0.971377	62.2622	Residuo nuevo - RNP	6	26	22.4323	33.8178	57.0349	0	57.0349
12	0.971377	65.0662	Residuo nuevo - RNP	6	26	23.0454	34.7421	58.93	0	58.93
13	0.971377	67.2698	Residuo nuevo - RNP	6	26	23.4605	35.3679	60.2132	0	60.2132
14	0.971377	68.8515	Residuo nuevo - RNP	6	26	23.6758	35.6925	60.8786	0	60.8786
15	0.971377	69.7867	Residuo nuevo - RNP	6	26	23.6888	35.712	60.9186	0	60.9186
16	0.971377	70.0467	Residuo nuevo - RNP	6	26	23.4961	35.4215	60.3229	0	60.3229
17	0.971377	69.5983	Residuo nuevo - RNP	6	26	23.0936	34.8148	59.0791	0	59.0791
18	0.971377	68.4031	Residuo nuevo - RNP	6	26	22.4766	33.8846	57.1719	0	57.1719
19	0.971377	66.416	Residuo nuevo - RNP	6	26	21.6392	32.6222	54.5835	0	54.5835
20	0.971377	63.5842	Residuo nuevo - RNP	6	26	20.5744	31.017	51.2924	0	51.2924
21	0.971377	59.8452	Residuo nuevo - RNP	6	26	19.2743	29.0569	47.2737	0	47.2737
22	0.971377	54.0982	Residuo nuevo - RNP	6	26	17.4581	26.319	41.6602	0	41.6602
23	0.971377	40.9317	Residuo nuevo - RNP	6	26	13.7455	20.722	30.1846	0	30.1846
24	0.971377	25.4915	Residuo nuevo - RNP	6	26	9.55592	14.406	17.235	0	17.235
25	0.971377	8.73017	Residuo nuevo - RNP	6	26	5.1728	7.79826	3.68697	0	3.68697

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.50579

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.971377	4.19488	Residuo nuevo - RNP	6	26	5.48319	8.25653	4.62657	0	4.62657
2	0.971377	12.3324	Residuo nuevo - RNP	6	26	8.42024	12.6791	13.6943	0	13.6943
3	0.971377	19.9647	Residuo nuevo - RNP	6	26	11.2268	16.9052	22.359	0	22.359
4	0.971377	27.0895	Residuo nuevo - RNP	6	26	13.84	20.8401	30.4267	0	30.4267
5	0.971377	33.7033	Residuo nuevo - RNP	6	26	16.2013	24.3958	37.7169	0	37.7169
			Residuo nuevo							

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

2/10 2025

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

VALIDAR

icog.e-gestiones [FV1MFR6ITWBCBRR]

VISADO : 03202500128

SLIDEINTERPRET 6.005

			- RNP							
7	0.971377	45.3761	Residuo nuevo - RNP	6	26	19.9907	30.1018	49.4159	0	49.4159
8	0.971377	50.4206	Residuo nuevo - RNP	6	26	21.3688	32.177	53.6707	0	53.6707
9	0.971377	54.9245	Residuo nuevo - RNP	6	26	22.3978	33.7264	56.8475	0	56.8475
10	0.971377	58.8763	Residuo nuevo - RNP	6	26	23.0937	34.7743	58.996	0	58.996
11	0.971377	62.2622	Residuo nuevo - RNP	6	26	23.4848	35.3632	60.2036	0	60.2036
12	0.971377	65.0662	Residuo nuevo - RNP	6	26	23.6075	35.548	60.5824	0	60.5824
13	0.971377	67.2698	Residuo nuevo - RNP	6	26	23.5018	35.3888	60.2559	0	60.2559
14	0.971377	68.8515	Residuo nuevo - RNP	6	26	23.2068	34.9446	59.3453	0	59.3453
15	0.971377	69.7867	Residuo nuevo - RNP	6	26	22.7578	34.2684	57.9588	0	57.9588
16	0.971377	70.0467	Residuo nuevo - RNP	6	26	22.1829	33.4028	56.1842	0	56.1842
17	0.971377	69.5983	Residuo nuevo - RNP	6	26	21.5026	32.3784	54.0837	0	54.0837
18	0.971377	68.4031	Residuo nuevo - RNP	6	26	20.7283	31.2124	51.6931	0	51.6931
19	0.971377	66.416	Residuo nuevo - RNP	6	26	19.8629	29.9093	49.0213	0	49.0213
20	0.971377	63.5842	Residuo nuevo - RNP	6	26	18.9007	28.4605	46.0508	0	46.0508
21	0.971377	59.8452	Residuo nuevo - RNP	6	26	17.8275	26.8444	42.7374	0	42.7374
22	0.971377	54.0982	Residuo nuevo - RNP	6	26	16.3646	24.6416	38.2209	0	38.2209
23	0.971377	40.9317	Residuo nuevo - RNP	6	26	13.1544	19.8077	28.3099	0	28.3099
24	0.971377	25.4915	Residuo nuevo - RNP	6	26	9.38597	14.1333	16.6757	0	16.6757
25	0.971377	8.73017	Residuo nuevo - RNP	6	26	5.19351	7.82033	3.73223	0	3.73223

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
37.2474	-40.1261
29.319	-47.1261
0.0229799	-48.0048
0.0229799	-84.0734
141.368	-84.0734
141.368	-56.1261
141.368	-43.5554
141.368	-43.0339



Page 5 of 6

141.368	-36.0798
99.2257	-29.5322
65.4216	-29.5322
44.1622	-40.1261

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
44.8402	-40.1261
51.1794	-47.0484
117.489	-50.1158
141.368	-43.0339

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
50.9595	-47.5486

Material Boundary

X	Y
117.55	-50.6192
141.368	-43.5554

Material Boundary

X	Y
29.319	-47.1261
47.8527	-49.9675
50.9595	-47.5486
117.55	-50.6192
141.368	-56.1261



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10

2025

VISADO : 03202500128



validar

icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]


ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
Habilitación Profesional
2/10 2025
 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

3.1.2. ROTURA CONTACTO VERTEDERO-TERRENO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Circular - vertedero y terreno

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil C-C'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search

Radius Increment: 10

Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	40	45
Water Surface	None	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.994120
Center: 15.925, 52.562
Radius: 100.584
Left Slip Surface Endpoint: 29.319, -47.126
Right Slip Surface Endpoint: 74.043, -29.532
Resisting Moment=248774 kN-m
Driving Moment=124754 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 2.025830
Center: 15.925, 52.562
Radius: 100.584
Left Slip Surface Endpoint: 29.319, -47.126
Right Slip Surface Endpoint: 74.043, -29.532
Resisting Moment=252730 kN-m
Driving Moment=124754 kN-m
Resisting Horizontal Force=2365.87 kN
Driving Horizontal Force=1167.85 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 4934
Number of Invalid Surfaces: 13557

Error Codes:

Error Code -101 reported for 64 surfaces
Error Code -103 reported for 1223 surfaces
Error Code -106 reported for 1 surface
Error Code -107 reported for 51 surfaces
Error Code -108 reported for 14 surfaces
Error Code -109 reported for 5 surfaces
Error Code -112 reported for 265 surfaces
Error Code -118 reported for 318 surfaces

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 4836

Number of Invalid Surfaces: 13655

Error Codes:

Error Code -101 reported for 64 surfaces
 Error Code -103 reported for 1223 surfaces
 Error Code -106 reported for 1 surface
 Error Code -107 reported for 51 surfaces
 Error Code -108 reported for 79 surfaces
 Error Code -109 reported for 5 surfaces
 Error Code -111 reported for 1 surface
 Error Code -112 reported for 297 surfaces
 Error Code -118 reported for 318 surfaces
 Error Code -1000 reported for 11616 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
- 111 = safety factor equation did not converge
- 112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 118 = Surface does not pass through the search focus
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.99412

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.75937	22.8915	Dique	15	40	12.2582	24.4443	11.2552	0	11.2552
2	1.75937	68.1142	Dique	15	40	22.2991	44.467	35.1173	0	35.1173
3	1.75937	112.211	Dique	15	40	31.9455	63.7031	58.0421	0	58.0421
4	1.75937	155.172	Dique	15	40	41.2015	82.1608	80.0391	0	80.0391
5	1.75937	190.326	Dique	15	40	48.6111	96.9364	97.6478	0	97.6478
6	1.75937	183.329	Dique	15	40	46.7378	93.2008	93.1961	0	93.1961
7	1.75937	168.149	Dique	15	40	43.1195	85.9855	84.5974	0	84.5974
8	1.75937	151.778	Dique	15	40	39.2941	78.3572	75.5063	0	75.5063
9	1.75937	131.257	Dique	15	40	34.6367	69.0697	64.4375	0	64.4375

SLIDEINTERPRET 6.005



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



10	1.75937	120.797	Dique	15	40	32.1697	64.1502	58.5751	0	58.5751
11	0.521797	38.992	Impermeabilización	5	26	19.247	38.3808	68.4407	0	68.4407
12	1.90058	157.815	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.0615	41.9992	75.8597	0	75.8597
13	1.90058	167.313	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.0776	44.0254	80.0141	0	80.0141
14	1.90058	175.33	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.9068	45.679	83.4043	0	83.4043
15	1.90058	181.833	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.5475	46.9566	86.0237	0	86.0237
16	1.90058	186.784	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.9978	47.8545	87.8645	0	87.8645
17	1.90058	190.142	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.2555	48.3683	88.9181	0	88.9181
18	1.90058	191.862	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.318	48.4931	89.1742	0	89.1742
19	1.90058	191.896	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.1827	48.2232	88.6207	0	88.6207
20	1.90058	190.189	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.8464	47.5526	87.2461	0	87.2461
21	1.90058	182.028	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.7797	45.4254	82.8843	0	82.8843
22	1.90058	147.743	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.7861	37.4617	66.5565	0	66.5565
23	1.90058	108.03	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.2325	28.3813	47.9387	0	47.9387
24	1.90058	66.2989	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.51071	18.9655	28.6336	0	28.6336
25	1.90058	22.4589	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.61795	9.20875	8.6292	0	8.6292

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 2.02583

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.75937	22.8915	Dique	15	40	12.2861	24.8897	11.786	0	11.786
2	1.75937	68.1142	Dique	15	40	22.83	46.2498	37.2421	0	37.2421
3	1.75937	112.211	Dique	15	40	33.2481	67.355	62.3944	0	62.3944
4	1.75937	155.172	Dique	15	40	43.4191	87.9597	86.9498	0	86.9498
5	1.75937	190.326	Dique	15	40	51.714	104.764	106.976	0	106.976
6	1.75937	183.329	Dique	15	40	50.3135	101.927	103.595	0	103.595
7	1.75937	168.149	Dique	15	40	46.85	94.9102	95.2332	0	95.2332
8	1.75937	151.778	Dique	15	40	42.9283	86.9655	85.7652	0	85.7652
9	1.75937	131.257	Dique	15	40	37.9519	76.8841	73.7509	0	73.7509
10	1.75937	120.797	Dique	15	40	35.0678	71.0415	66.7874	0	66.7874
11	0.521797	38.992	Impermeabilización	5	26	19.359	39.2181	70.1575	0	70.1575
12	1.90058	157.815	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.8033	42.1439	76.1565	0	76.1565
13	1.90058	167.313	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.318	43.1867	78.2943	0	78.2943
14	1.90058	175.33	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.675	43.9099	79.777	0	79.777
15	1.90058	181.833	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.8986	44.3629	80.7058	0	80.7058
16	1.90058	186.784	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.0102	44.5889	81.1692	0	81.1692



17	1.90058	190.142	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.027	44.6229	81.2391	0	81.2391
18	1.90058	191.862	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.9619	44.4911	80.9687	0	80.9687
19	1.90058	191.896	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.823	44.2096	80.3914	0	80.3914
20	1.90058	190.189	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.613	43.7842	79.5193	0	79.5193
21	1.90058	182.028	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.8399	42.2181	76.3084	0	76.3084
22	1.90058	147.743	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.4136	35.277	62.0771	0	62.0771
23	1.90058	108.03	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.428	27.2029	45.5224	0	45.5224
24	1.90058	66.2989	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.16879	18.5744	27.8316	0	27.8316
25	1.90058	22.4589	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.54838	9.21424	8.64046	0	8.64046

List Of Coordinates

Focus Search Line

X	Y
29.319	-47.1261
51.1794	-47.0484

External Boundary

X	Y
37.2474	-40.1261
29.319	-47.1261
0.0229799	-48.0048
0.0229799	-84.0734
141.368	-84.0734
141.368	-56.1261
141.368	-43.5554
141.368	-43.0339
141.368	-36.0798
99.2257	-29.5322
65.4216	-29.5322
44.1622	-40.1261

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
44.8402	-40.1261
51.1794	-47.0484
117.489	-50.1158
141.368	-43.0339

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
50.9595	-47.5486

Material Boundary

X	Y
117.55	-50.6192
141.368	-43.5554



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
 Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
 Habilitación Profesional

2/10
 2025



VISADO : 03202500128
 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]

Material Boundary

X	Y
29.319	-47.1261
47.8527	-49.9675
50.9595	-47.5486
117.55	-50.6192
141.368	-56.1261

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

3.1.3. ESTABILIDAD CONJUNTA DEL VERTEDERO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Circular - global

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil C-C'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	40	45
Water Surface	None	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.525640
Center: 40.049, 9.864
Radius: 49.907
Left Slip Surface Endpoint: 44.779, -39.819
Right Slip Surface Endpoint: 70.686, -29.532
Resisting Moment=33312.6 kN-m
Driving Moment=21835.2 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.522530
Center: 40.049, 9.864
Radius: 49.907
Left Slip Surface Endpoint: 44.779, -39.819
Right Slip Surface Endpoint: 70.686, -29.532
Resisting Moment=33244.8 kN-m
Driving Moment=21835.2 kN-m
Resisting Horizontal Force=612.621 kN
Driving Horizontal Force=402.37 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 5819
Number of Invalid Surfaces: 12672

Error Codes:

Error Code -103 reported for 2663 surfaces
Error Code -106 reported for 29 surfaces
Error Code -107 reported for 4088 surfaces

Error Code -108 reported for 329 surfaces
Error Code -112 reported for 514 surfaces
Error Code -1000 reported for 5049 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 5734
Number of Invalid Surfaces: 12757

Error Codes:

Error Code -103 reported for 2663 surfaces
Error Code -106 reported for 29 surfaces
Error Code -107 reported for 4088 surfaces
Error Code -108 reported for 400 surfaces
Error Code -112 reported for 528 surfaces
Error Code -1000 reported for 5049 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
-106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
-107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
-112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi))/F < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
-1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.52564

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.03628	3.79389	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.30271	6.56438	3.20746	0	3.20746
2	1.03628	11.1769	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.46386	9.86153	9.9676	0	9.9676
3	1.03628	18.1486	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.47557	12.9307	16.2603	0	16.2603
4	1.03628	24.7056	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.3393	15.774	22.09	0	22.09
5	1.03628	30.8436	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.0562	18.3934	27.4605	0	27.4605
6	1.03628	36.5577	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.6272	20.7902	32.3748	0	32.3748
7	1.03628	41.8425	Residuo nuevo - RNP	5	26	15.0532	22.9657	36.8352	0	36.8352

SLIDEINTERPRET 6.005



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6tWtWBCBRR]



8	1.03628	46.6918	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.3346	24.9207	40.8435	0	40.8435
9	1.03628	51.0985	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.4717	26.6556	44.4007	0	44.4007
10	1.03628	55.055	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.4648	28.1706	47.5069	0	47.5069
11	1.03628	58.5524	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.3136	29.4656	50.1619	0	50.1619
12	1.03628	61.5813	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.0178	30.5399	52.3645	0	52.3645
13	1.03628	64.1308	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.5767	31.3927	54.113	0	54.113
14	1.03628	66.1892	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.9898	32.0229	55.4051	0	55.4051
15	1.03628	67.7435	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.2559	32.4288	56.2375	0	56.2375
16	1.03628	68.7791	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.3738	32.6087	56.6061	0	56.6061
17	1.03628	69.2802	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.3419	32.5601	56.5066	0	56.5066
18	1.03628	69.2289	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.1586	32.2804	55.9332	0	55.9332
19	1.03628	68.6056	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.8218	31.7666	54.8795	0	54.8795
20	1.03628	67.3575	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.321	31.0026	53.3132	0	53.3132
21	1.03628	59.9642	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.2342	27.8188	46.7854	0	46.7854
22	1.03628	47.8514	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.9689	22.8371	36.5715	0	36.5715
23	1.03628	35.0628	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.5855	17.6753	25.9882	0	25.9882
24	1.03628	21.564	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.08257	12.3311	15.031	0	15.031
25	1.03628	7.31627	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.45878	6.80249	3.69565	0	3.69565

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.52253

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.03628	3.79389	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.37619	6.66288	3.40941	0	3.40941
2	1.03628	11.1769	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.71158	10.2186	10.6997	0	10.6997
3	1.03628	18.1486	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.9325	13.6	17.6326	0	17.6326
4	1.03628	24.7056	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.0085	16.7608	24.1133	0	24.1133
5	1.03628	30.8436	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.9117	19.6584	30.0542	0	30.0542
6	1.03628	36.5577	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.6188	22.2575	35.3831	0	35.3831
7	1.03628	41.8425	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.1132	24.5328	40.0482	0	40.0482



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar [icog.e-gestion.es \[FV1MFR6tWBCBRR\]](https://icog.e-gestion.es/FV1MFR6tWBCBRR)



8	1.03628	46.6918	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.386	26.4707	44.0215	0	44.0215
9	1.03628	51.0985	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.4362	28.0697	47.2998	0	47.2998
10	1.03628	55.055	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.27	29.3391	49.9025	0	49.9025
11	1.03628	58.5524	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.8996	30.2978	51.8682	0	51.8682
12	1.03628	61.5813	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.3423	30.9717	53.2498	0	53.2498
13	1.03628	64.1308	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.6173	31.3905	54.1086	0	54.1086
14	1.03628	66.1892	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.7455	31.5857	54.5087	0	54.5087
15	1.03628	67.7435	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.7467	31.5874	54.5121	0	54.5121
16	1.03628	68.7791	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.6383	31.4225	54.1742	0	54.1742
17	1.03628	69.2802	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.4355	31.1136	53.5408	0	53.5408
18	1.03628	69.2289	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.1488	30.6772	52.646	0	52.646
19	1.03628	68.6056	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.7854	30.1238	51.5114	0	51.5114
20	1.03628	67.3575	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.3398	29.4455	50.1207	0	50.1207
21	1.03628	59.9642	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.455	26.5758	44.2371	0	44.2371
22	1.03628	47.8514	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.4742	22.0374	34.9319	0	34.9319
23	1.03628	35.0628	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.355	17.2883	25.1947	0	25.1947
24	1.03628	21.564	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.04651	12.251	14.8668	0	14.8668
25	1.03628	7.31627	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.49025	6.83654	3.76545	0	3.76545

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
37.2474	-40.1261
29.319	-47.1261
0.0229799	-48.0048
0.0229799	-84.0734
141.368	-84.0734
141.368	-56.1261
141.368	-43.5554
141.368	-43.0339
141.368	-36.0798
99.2257	-29.5322
65.4216	-29.5322

44.1622 -40.1261

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
44.8402	-40.1261
51.1794	-47.0484
117.489	-50.1158
141.368	-43.0339



Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
50.9595	-47.5486

Material Boundary

X	Y
117.55	-50.6192
141.368	-43.5554

Material Boundary

X	Y
29.319	-47.1261
47.8527	-49.9675
50.9595	-47.5486
117.55	-50.6192
141.368	-56.1261

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

3.1.4. ROTURA POLIGONAL

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Poligonal
Slide Modeler Version: 6.005
Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta
Analysis: Perfil C-C'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 10
Circles per division: 10
Number of iterations: 10

Divisions to use in next iteration: 50%
Number of vertices per surface: 12
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	40	45
Water Surface	None	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.529800
Axis Location: 45.134, -11.697
Left Slip Surface Endpoint: 44.161, -40.126
Right Slip Surface Endpoint: 67.294, -29.532
Resisting Moment=25487.9 kN-m
Driving Moment=16660.9 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.534930
Axis Location: 45.184, -11.595
Left Slip Surface Endpoint: 44.161, -40.126
Right Slip Surface Endpoint: 67.395, -29.532
Resisting Moment=23449.1 kN-m
Driving Moment=15277 kN-m
Resisting Horizontal Force=719.115 kN
Driving Horizontal Force=468.501 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 2316
Number of Invalid Surfaces: 2186

Error Codes:

Error Code -105 reported for 464 surfaces
Error Code -106 reported for 466 surfaces
Error Code -107 reported for 161 surfaces
Error Code -108 reported for 1068 surfaces
Error Code -1000 reported for 27 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2259

Error Codes:

Error Code -105 reported for 464 surfaces
 Error Code -106 reported for 466 surfaces
 Error Code -107 reported for 161 surfaces
 Error Code -108 reported for 1114 surfaces
 Error Code -111 reported for 11 surfaces
 Error Code -1000 reported for 27 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
- 106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 111 = safety factor equation did not converge
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.5298

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.05916	8.8386	Impermeabilización	5	26	8.68067	13.2797	16.9759	0	16.9759
2	0.623528	17.5049	Impermeabilización	5	26	14.2407	21.7854	34.4152	0	34.4152
3	0.209842	8.05946	Impermeabilización	5	26	15.3879	23.5404	38.0134	0	38.0134
4	0.751021	33.0597	Residuo nuevo - RNP	8	26	19.1079	29.2312	43.5305	0	43.5305
5	0.751021	37.8589	Residuo nuevo - RNP	8	26	21.1287	32.3227	49.8689	0	49.8689
6	0.846298	47.4728	Residuo nuevo - RNP	8	26	21.9157	33.5266	52.3374	0	52.3374
7	0.846298	51.6868	Residuo nuevo - RNP	8	26	23.4209	35.8293	57.0585	0	57.0585
8	0.846298	55.9007	Residuo nuevo - RNP	8	26	24.9261	38.132	61.7797	0	61.7797
9	0.986148	69.3263	Residuo nuevo - RNP	8	26	25.2272	38.5925	62.7239	0	62.7239
10	0.986148	72.7921	Residuo nuevo - RNP	8	26	26.2497	40.1568	65.9313	0	65.9313
11	0.986148	76.2579	Residuo nuevo - RNP	8	26	27.2723	41.7212	69.1387	0	69.1387
12	1.47882	118.509	Residuo nuevo - RNP	8	26	27.1496	41.5334	68.7537	0	68.7537
13	1.47882	121.619	Residuo nuevo - RNP	8	26	27.7409	42.438	70.6084	0	70.6084
14	0.958813	79.5341	Residuo nuevo - RNP	8	26	27.039	41.3642	68.4068	0	68.4068
15	0.958813	78.8793	Residuo nuevo - RNP	8	26	26.8531	41.0799	67.8239	0	67.8239


Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



16	0.958813	78.2245	Residuo nuevo - RNP	8	26	26.6673	40.7956	67.241	0	67.241
17	0.848502	67.8239	Residuo nuevo - RNP	8	26	25.3091	38.7179	62.9811	0	62.9811
18	0.848502	65.6013	Residuo nuevo - RNP	8	26	24.621	37.6652	60.8227	0	60.8227
19	0.848502	63.3787	Residuo nuevo - RNP	8	26	23.9328	36.6124	58.6642	0	58.6642
20	0.999238	70.3862	Residuo nuevo - RNP	8	26	21.9168	33.5283	52.3409	0	52.3409
21	0.999238	64.5002	Residuo nuevo - RNP	8	26	20.4302	31.2541	47.6781	0	47.6781
22	1.25672	70.2523	Residuo nuevo - RNP	8	26	17.4686	26.7234	38.3886	0	38.3886
23	0.868565	38.6829	Residuo nuevo - RNP	8	26	14.0183	21.4452	27.5666	0	27.5666
24	0.868565	24.6578	Residuo nuevo - RNP	8	26	10.3038	15.7627	15.9159	0	15.9159
25	0.868565	8.21927	Residuo nuevo - RNP	8	26	5.95004	9.10237	2.26018	0	2.26018

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.53493

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.848478	5.15755	Impermeabilización	5	26	8.10457	12.4399	15.2542	0	15.2542
2	0.573368	12.2322	Impermeabilización	5	26	13.0308	20.0014	30.7574	0	30.7574
3	0.219861	6.83915	Impermeabilización	5	26	14.2477	21.8692	34.587	0	34.587
4	1.07972	41.2351	Residuo nuevo - RNP	8	26	19.032	29.2128	43.4927	0	43.4927
5	1.08779	49.8099	Residuo nuevo - RNP	8	26	20.6296	31.665	48.5205	0	48.5205
6	1.08779	56.4362	Residuo nuevo - RNP	8	26	22.9047	35.1571	55.6803	0	55.6803
7	0.994515	56.3885	Residuo nuevo - RNP	8	26	23.1439	35.5243	56.4331	0	56.4331
8	0.994515	59.914	Residuo nuevo - RNP	8	26	24.181	37.1162	59.697	0	59.697
9	0.994515	63.4395	Residuo nuevo - RNP	8	26	25.1587	38.6168	62.7738	0	62.7738
10	0.898404	59.7021	Residuo nuevo - RNP	8	26	24.4422	37.517	60.5188	0	60.5188
11	0.898404	61.3045	Residuo nuevo - RNP	8	26	24.7205	37.9443	61.3949	0	61.3949
12	0.898404	62.9068	Residuo nuevo - RNP	8	26	24.9832	38.3474	62.2215	0	62.2215
13	0.898404	64.5091	Residuo nuevo - RNP	8	26	25.2341	38.7326	63.0111	0	63.0111
14	1.08761	79.3398	Residuo nuevo - RNP	8	26	24.0082	36.8509	59.1532	0	59.1532
15	1.08761	79.8897	Residuo nuevo - RNP	8	26	23.8919	36.6724	58.7871	0	58.7871
16	1.08761	80.4396	Residuo nuevo - RNP	8	26	23.8162	36.5562	58.5489	0	58.5489
17	0.874399	64.3466	Residuo nuevo - RNP	8	26	22.2973	34.2248	53.7688	0	53.7688
			Residuo nuevo -							

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar

icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez



			RNP							
19	0.874399	62.1668	Residuo nuevo - RNP	8	26	21.7042	33.3144	51.9023	0	51.9023
20	1.00481	68.7399	Residuo nuevo - RNP	8	26	19.8234	30.4275	45.9832	0	45.9832
21	1.00481	64.5952	Residuo nuevo - RNP	8	26	19.1287	29.3612	43.7969	0	43.7969
22	1.465	82.5646	Residuo nuevo - RNP	8	26	16.4236	25.209	35.2836	0	35.2836
23	0.799685	35.3805	Residuo nuevo - RNP	8	26	13.0291	19.9988	24.6012	0	24.6012
24	0.799685	21.716	Residuo nuevo - RNP	8	26	9.7241	14.9258	14.2	0	14.2
25	0.799685	7.23865	Residuo nuevo - RNP	8	26	5.8226	8.93728	1.9217	0	1.9217

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
37.2474	-40.1261
29.319	-47.1261
0.0229799	-48.0048
0.0229799	-84.0734
141.368	-84.0734
141.368	-56.1261
141.368	-43.5554
141.368	-43.0339
141.368	-36.0798
99.2257	-29.5322
65.4216	-29.5322
44.1622	-40.1261

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
44.8402	-40.1261
51.1794	-47.0484
117.489	-50.1158
141.368	-43.0339

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
50.9595	-47.5486

Material Boundary

X	Y
117.55	-50.6192
141.368	-43.5554

Material Boundary

X	Y
29.319	-47.1261
47.8527	-49.9675
50.9595	-47.5486
117.55	-50.6192
141.368	-56.1261



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martinez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]




ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional
2/10 2025
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 

3.2. SITUACIÓN ACCIDENTAL TIPO 1


ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional
2/10 2025
 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

3.2.1. ROTURA POR LA MASA DE RESIDUO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 1 - Circular - Residuo

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil C-C'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	40	45
Water Surface	None	None	Water Table	None	None
Hu Value			1		
Ru Value	0	0		0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.558310
Center: 44.873, -7.216
Radius: 31.028
Left Slip Surface Endpoint: 48.326, -38.051
Right Slip Surface Endpoint: 66.431, -29.532
Resisting Moment=9789.22 kN-m
Driving Moment=6281.95 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.556610
Center: 44.873, -7.216
Radius: 31.028
Left Slip Surface Endpoint: 48.326, -38.051
Right Slip Surface Endpoint: 66.431, -29.532
Resisting Moment=9778.58 kN-m
Driving Moment=6281.95 kN-m
Resisting Horizontal Force=282.071 kN
Driving Horizontal Force=181.208 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 860
Number of Invalid Surfaces: 3991

Error Codes:

Error Code -103 reported for 377 surfaces

Error Code -106 reported for 2 surfaces
 Error Code -107 reported for 1087 surfaces
 Error Code -108 reported for 44 surfaces
 Error Code -110 reported for 407 surfaces
 Error Code -112 reported for 52 surfaces
 Error Code -113 reported for 42 surfaces
 Error Code -1000 reported for 1980 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 841
 Number of Invalid Surfaces: 4010

Error Codes:

Error Code -103 reported for 377 surfaces
 Error Code -106 reported for 2 surfaces
 Error Code -107 reported for 1087 surfaces
 Error Code -108 reported for 62 surfaces
 Error Code -110 reported for 407 surfaces
 Error Code -112 reported for 53 surfaces
 Error Code -113 reported for 42 surfaces
 Error Code -1000 reported for 1980 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 106 = Average slice width is less than $0.0001 \times$ (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1 . This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1+\tan(\alpha)\tan(\phi))/F < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 113 = Surface intersects outside slope limits.
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.55831

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.724209	1.76742	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.82425	5.95937	1.967	0	1.967
2	0.724209	5.18902	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.21018	8.11908	6.39507	0	6.39507
			Residuo nuevo							

SLIDEINTERPRET 6.005

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



			- RNP							
4	0.724209	11.3465	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.64219	11.9089	14.1654	0	14.1654
5	0.724209	14.0767	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.69002	13.5417	17.5131	0	17.5131
6	0.724209	16.5701	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.62652	15.0011	20.5053	0	20.5053
7	0.724209	18.8226	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.4521	16.2876	23.143	0	23.143
8	0.724209	20.8295	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.1668	17.4013	25.4265	0	25.4265
9	0.724209	22.5859	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.7706	18.3422	27.3556	0	27.3556
10	0.724209	24.0858	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.2632	19.1098	28.9293	0	28.9293
11	0.724209	25.3226	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.644	19.7033	30.1462	0	30.1462
12	0.724209	26.2892	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.9124	20.1215	31.0037	0	31.0037
13	0.724209	26.9773	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.0674	20.3631	31.4989	0	31.4989
14	0.724209	27.3777	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.1078	20.426	31.6281	0	31.6281
15	0.724209	27.4801	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.0322	20.3082	31.3865	0	31.3865
16	0.724209	27.2729	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.8388	20.0069	30.7687	0	30.7687
17	0.724209	26.7432	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.5258	19.5191	29.7686	0	29.7686
18	0.724209	25.8763	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.0907	18.8411	28.3785	0	28.3785
19	0.724209	24.6556	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.5311	17.9691	26.5905	0	26.5905
20	0.724209	23.0621	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.8439	16.8982	24.395	0	24.395
21	0.724209	21.0743	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.0259	15.6235	21.7814	0	21.7814
22	0.724209	18.6674	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.07332	14.139	18.7379	0	18.7379
23	0.724209	15.8126	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.98197	12.4384	15.251	0	15.251
24	0.724209	12.1122	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.62376	10.3219	10.9115	0	10.9115
25	0.724209	4.41618	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.95866	6.16882	2.39644	0	2.39644

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.55661

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.724209	1.76742	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.90026	6.07118	2.19625	0	2.19625
2	0.724209	5.18902	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.45769	8.49549	7.16681	0	7.16681
			Residuo nuevo							

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional 2/10 2025 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	- RNP										
	9	0.724209	22.5859	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.483	19.4312	29.5883	0	29.5883
	10	0.724209	24.0858	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.8121	19.9435	30.6387	0	30.6387
	11	0.724209	25.3226	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.9905	20.2212	31.2082	0	31.2082
	12	0.724209	26.2892	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.0352	20.2908	31.3509	0	31.3509
	13	0.724209	26.9773	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.9637	20.1795	31.1226	0	31.1226
	14	0.724209	27.3777	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.7924	19.9128	30.5758	0	30.5758
	15	0.724209	27.4801	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.5351	19.5122	29.7544	0	29.7544
	16	0.724209	27.2729	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.2022	18.9941	28.6921	0	28.6921
	17	0.724209	26.7432	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.8004	18.3686	27.4097	0	27.4097
	18	0.724209	25.8763	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.3322	17.6398	25.9155	0	25.9155
	19	0.724209	24.6556	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.796	16.8051	24.2042	0	24.2042
	20	0.724209	23.0621	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.1858	15.8553	22.2568	0	22.2568
	21	0.724209	21.0743	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.49091	14.7736	20.039	0	20.039
	22	0.724209	18.6674	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.69471	13.5343	17.4978	0	17.4978
	23	0.724209	15.8126	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.77323	12.0999	14.5569	0	14.5569
	24	0.724209	12.1122	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.57286	10.2314	10.7259	0	10.7259
	25	0.724209	4.41618	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.99823	6.22369	2.50895	0	2.50895

List Of Coordinators

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
47.9542	-43.5265
74.666	-39.734
122.47	-39.734

141.368	-39.734
---------	---------

External Boundary

X	Y
37.2474	-40.1261
29.319	-47.1261
0.0229799	-48.0048
0.0229799	-84.0734
141.368	-84.0734
141.368	-56.1261
141.368	-43.5554
141.368	-43.0339
141.368	-36.0798
99.2257	-29.5322
65.4216	-29.5322
44.1622	-40.1261

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
44.8402	-40.1261
51.1794	-47.0484
117.489	-50.1158
141.368	-43.0339

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
50.9595	-47.5486

Material Boundary

X	Y
117.55	-50.6192
141.368	-43.5554

Material Boundary

X	Y
29.319	-47.1261
47.8527	-49.9675
50.9595	-47.5486
117.55	-50.6192
141.368	-56.1261



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

3.2.2. ROTURA CONTACTO VERTEDERO-TERRENO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 1 - Circular - vertedero y terreno

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil C-C'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search

Radius Increment: 10

Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	40	45
Water Surface	Water Table	None	Water Table	None	None
Hu Value	1		1		
Ru Value		0		0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.994120
Center: 15.925, 52.562
Radius: 100.584
Left Slip Surface Endpoint: 29.319, -47.126
Right Slip Surface Endpoint: 74.043, -29.532
Resisting Moment=248774 kN-m
Driving Moment=124754 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 2.025830
Center: 15.925, 52.562
Radius: 100.584
Left Slip Surface Endpoint: 29.319, -47.126
Right Slip Surface Endpoint: 74.043, -29.532
Resisting Moment=252730 kN-m
Driving Moment=124754 kN-m
Resisting Horizontal Force=2365.87 kN
Driving Horizontal Force=1167.85 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 4722
Number of Invalid Surfaces: 13769

Error Codes:

Error Code -101 reported for 64 surfaces
Error Code -103 reported for 1223 surfaces
Error Code -106 reported for 1 surface
Error Code -107 reported for 51 surfaces
Error Code -108 reported for 9 surfaces
Error Code -109 reported for 5 surfaces
Error Code -110 reported for 238 surfaces

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar [coog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]]



Error Code -112 reported for 244 surfaces
 Error Code -118 reported for 318 surfaces
 Error Code -1000 reported for 11616 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 4636
 Number of Invalid Surfaces: 13855

Error Codes:

Error Code -101 reported for 64 surfaces
 Error Code -103 reported for 1223 surfaces
 Error Code -106 reported for 1 surface
 Error Code -107 reported for 51 surfaces
 Error Code -108 reported for 63 surfaces
 Error Code -109 reported for 5 surfaces
 Error Code -110 reported for 238 surfaces
 Error Code -111 reported for 1 surface
 Error Code -112 reported for 275 surfaces
 Error Code -118 reported for 318 surfaces
 Error Code -1000 reported for 11616 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 111 = safety factor equation did not converge
- 112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 118 = Surface does not pass through the search focus
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

lice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.99412

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.75937	22.8915	Dique	15	40	12.2582	24.4443	11.2552	0	11.2552
2	1.75937	68.1142	Dique	15	40	22.2991	44.467	35.1173	0	35.1173
3	1.75937	112.211	Dique	15	40	31.9455	63.7031	58.0421	0	58.0421
4	1.75937	155.172	Dique	15	40	41.2015	82.1608	80.0391	0	80.0391

SLIDEINTERPRET 6.005



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

2/10 2025

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

VISADO : 03202500128



5	1.75937	190.326	Dique	15	40	48.6111	96.9364	97.6478	0	97.6478
6	1.75937	183.329	Dique	15	40	46.7378	93.2008	93.1961	0	93.1961
7	1.75937	168.149	Dique	15	40	43.1195	85.9855	84.5974	0	84.5974
8	1.75937	151.778	Dique	15	40	39.2941	78.3572	75.5063	0	75.5063
9	1.75937	131.257	Dique	15	40	34.6367	69.0697	64.4375	0	64.4375
10	1.75937	120.797	Dique	15	40	32.1697	64.1502	58.5751	0	58.5751
11	0.521797	38.992	Impermeabilización	5	26	19.247	38.3808	68.4407	0	68.4407
12	1.90058	157.815	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.0615	41.9992	75.8597	0	75.8597
13	1.90058	167.313	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.0776	44.0254	80.0141	0	80.0141
14	1.90058	175.33	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.9068	45.679	83.4043	0	83.4043
15	1.90058	181.833	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.5475	46.9566	86.0237	0	86.0237
16	1.90058	186.784	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.9978	47.8545	87.8645	0	87.8645
17	1.90058	190.142	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.2555	48.3683	88.9181	0	88.9181
18	1.90058	191.862	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.318	48.4931	89.1742	0	89.1742
19	1.90058	191.896	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.1827	48.2232	88.6207	0	88.6207
20	1.90058	190.189	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.8464	47.5526	87.2461	0	87.2461
21	1.90058	182.028	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.7797	45.4254	82.8843	0	82.8843
22	1.90058	147.743	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.7861	37.4617	66.5565	0	66.5565
23	1.90058	108.03	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.2325	28.3813	47.9387	0	47.9387
24	1.90058	66.2989	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.51071	18.9655	28.6336	0	28.6336
25	1.90058	22.4589	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.61795	9.20875	8.6292	0	8.6292

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 2.02583

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.75937	22.8915	Dique	15	40	12.2861	24.8897	11.786	0	11.786
2	1.75937	68.1142	Dique	15	40	22.83	46.2498	37.2421	0	37.2421
3	1.75937	112.211	Dique	15	40	33.2481	67.355	62.3944	0	62.3944
4	1.75937	155.172	Dique	15	40	43.4191	87.9597	86.9498	0	86.9498
5	1.75937	190.326	Dique	15	40	51.714	104.764	106.976	0	106.976
6	1.75937	183.329	Dique	15	40	50.3135	101.927	103.595	0	103.595
7	1.75937	168.149	Dique	15	40	46.85	94.9102	95.2332	0	95.2332
8	1.75937	151.778	Dique	15	40	42.9283	86.9655	85.7652	0	85.7652
9	1.75937	131.257	Dique	15	40	37.9519	76.8841	73.7509	0	73.7509
10	1.75937	120.797	Dique	15	40	35.0678	71.0415	66.7874	0	66.7874
11	0.521797	38.992	Impermeabilización	5	26	19.359	39.2181	70.1575	0	70.1575
12	1.90058	157.815	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.8033	42.1439	76.1565	0	76.1565
13	1.90058	167.313	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.318	43.1867	78.2943	0	78.2943



Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



14	1.90058	175.33	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.675	43.9099	79.777	0	79.777
15	1.90058	181.833	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.8986	44.3629	80.7058	0	80.7058
16	1.90058	186.784	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.0102	44.5889	81.1692	0	81.1692
17	1.90058	190.142	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.027	44.6229	81.2391	0	81.2391
18	1.90058	191.862	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.9619	44.4911	80.9687	0	80.9687
19	1.90058	191.896	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.823	44.2096	80.3914	0	80.3914
20	1.90058	190.189	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.613	43.7842	79.5193	0	79.5193
21	1.90058	182.028	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.8399	42.2181	76.3084	0	76.3084
22	1.90058	147.743	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.4136	35.277	62.0771	0	62.0771
23	1.90058	108.03	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.428	27.2029	45.5224	0	45.5224
24	1.90058	66.2989	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.16879	18.5744	27.8316	0	27.8316
25	1.90058	22.4589	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.54838	9.21424	8.64046	0	8.64046

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
47.9542	-43.5265
74.666	-39.734
122.47	-39.734
141.368	-39.734

Focus Search Line

X	Y
29.319	-47.1261
51.1794	-47.0484

External Boundary

X	Y
37.2474	-40.1261
29.319	-47.1261
0.0229799	-48.0048
0.0229799	-84.0734
141.368	-84.0734
141.368	-56.1261
141.368	-43.5554
141.368	-43.0339
141.368	-36.0798
99.2257	-29.5322

65.4216	-29.5322
44.1622	-40.1261

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
44.8402	-40.1261
51.1794	-47.0484
117.489	-50.1158
141.368	-43.0339



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]



Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
50.9595	-47.5486

Material Boundary

X	Y
117.55	-50.6192
141.368	-43.5554

Material Boundary

X	Y
29.319	-47.1261
47.8527	-49.9675
50.9595	-47.5486
117.55	-50.6192
141.368	-56.1261

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS	
	Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez	
Habilitación Profesional		
2/10 2025		
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]		

3.2.3. ESTABILIDAD CONJUNTA DEL VERTEDERO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 1 - Circular - global
Slide Modeler Version: 6.005
Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta
Analysis: Perfil C-C'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	40	45
Water Surface	Water Table	None	Water Table	None	None
Hu Value	1		1		
Ru Value		0		0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.575720
Center: 49.698, -15.756
Radius: 21.337
Left Slip Surface Endpoint: 50.264, -37.086
Right Slip Surface Endpoint: 65.992, -29.532
Resisting Moment=6087.19 kN-m
Driving Moment=3863.13 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.573330
Center: 49.698, -15.756
Radius: 21.337
Left Slip Surface Endpoint: 50.264, -37.086
Right Slip Surface Endpoint: 65.992, -29.532
Resisting Moment=6077.98 kN-m
Driving Moment=3863.13 kN-m
Resisting Horizontal Force=253.357 kN
Driving Horizontal Force=161.033 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 4821
Number of Invalid Surfaces: 13670

Error Codes:

Error Code -103 reported for 2663 surfaces

Error Code -106 reported for 29 surfaces
 Error Code -107 reported for 4088 surfaces
 Error Code -108 reported for 327 surfaces
 Error Code -110 reported for 1012 surfaces
 Error Code -112 reported for 502 surfaces
 Error Code -1000 reported for 5049 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 4740
 Number of Invalid Surfaces: 13751

Error Codes:

Error Code -103 reported for 2663 surfaces
 Error Code -106 reported for 29 surfaces
 Error Code -107 reported for 4088 surfaces
 Error Code -108 reported for 395 surfaces
 Error Code -110 reported for 1012 surfaces
 Error Code -112 reported for 515 surfaces
 Error Code -1000 reported for 5049 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
 -106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
 -107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
 -108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
 -110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
 -112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
 -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.57572

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.629118	1.62791	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.92396	6.18306	2.42563	0	2.42563
2	0.629118	4.77819	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.40544	8.51746	7.21186	0	7.21186
3	0.629118	7.7167	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.75916	10.6505	11.5853	0	11.5853
4	0.629118	10.4418	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.98733	12.5858	15.5532	0	15.5532

SLIDEINTERPRET 6.005



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar [coog.e-gestion.es \[FV1MFR6ITWBCBRR\]](https://coog.e-gestion.es/[FV1MFR6ITWBCBRR])



5	0.629118	12.9514	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.09172	14.326	19.1212	0	19.1212
6	0.629118	15.2425	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.0737	15.8734	22.2938	0	22.2938
7	0.629118	17.3117	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.9343	17.2294	25.0741	0	25.0741
8	0.629118	19.1547	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.6741	18.3951	27.4642	0	27.4642
9	0.629118	20.7665	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.2934	19.3709	29.4646	0	29.4646
10	0.629118	22.1414	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.7919	20.1565	31.0754	0	31.0754
11	0.629118	23.2724	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.1693	20.7511	32.2946	0	32.2946
12	0.629118	24.1518	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.4246	21.1534	33.1193	0	33.1193
13	0.629118	24.7704	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.5565	21.3613	33.5457	0	33.5457
14	0.629118	25.1177	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.5634	21.3721	33.5678	0	33.5678
15	0.629118	25.1816	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.4431	21.1825	33.1791	0	33.1791
16	0.629118	24.9481	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.1929	20.7883	32.3708	0	32.3708
17	0.629118	24.4008	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.8097	20.1845	31.1329	0	31.1329
18	0.629118	23.5207	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.2897	19.3652	29.4531	0	29.4531
19	0.629118	22.2854	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.6287	18.3235	27.3173	0	27.3173
20	0.629118	20.6685	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.8212	17.0512	24.7087	0	24.7087
21	0.629118	18.6383	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.86152	15.539	21.6083	0	21.6083
22	0.629118	16.1564	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.74265	13.776	17.9934	0	17.9934
23	0.629118	13.1761	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.45657	11.7495	13.8384	0	13.8384
24	0.629118	9.63886	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.99412	9.44506	9.11373	0	9.11373
25	0.629118	4.01209	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.8133	6.0087	2.06815	0	2.06815

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.57333

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.629118	1.62791	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.00675	6.30394	2.67348	0	2.67348
2	0.629118	4.77819	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.68684	8.94728	8.09314	0	8.09314
3	0.629118	7.7167	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.27346	11.4436	13.2112	0	13.2112
4	0.629118	10.4418	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.73006	13.7353	17.91	0	17.91



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar [icog.e-gestion.es \[FV1MFR6ITWBCBRR\]](https://icog.e-gestion.es/FV1MFR6ITWBCBRR)



5	0.629118	12.9514	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.0242	15.7713	22.0845	0	22.0845
6	0.629118	15.2425	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.1306	17.5121	25.6536	0	25.6536
7	0.629118	17.3117	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.0336	18.9328	28.5665	0	28.5665
8	0.629118	19.1547	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.7275	20.0246	30.8051	0	30.8051
9	0.629118	20.7665	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.2168	20.7944	32.3834	0	32.3834
10	0.629118	22.1414	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.5141	21.2622	33.3424	0	33.3424
11	0.629118	23.2724	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.6383	21.4575	33.7429	0	33.7429
12	0.629118	24.1518	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.6115	21.4154	33.6565	0	33.6565
13	0.629118	24.7704	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.4567	21.1718	33.1571	0	33.1571
14	0.629118	25.1177	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.195	20.7601	32.3131	0	32.3131
15	0.629118	25.1816	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.8442	20.2081	31.1813	0	31.1813
16	0.629118	24.9481	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.4169	19.5359	29.803	0	29.803
17	0.629118	24.4008	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.9208	18.7553	28.2026	0	28.2026
18	0.629118	23.5207	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.3576	17.8693	26.386	0	26.386
19	0.629118	22.2854	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.7241	16.8725	24.3423	0	24.3423
20	0.629118	20.6685	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.0112	15.7509	22.0427	0	22.0427
21	0.629118	18.6383	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.20377	14.4806	19.4381	0	19.4381
22	0.629118	16.1564	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.27859	13.025	16.4536	0	16.4536
23	0.629118	13.1761	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.20153	11.3304	12.9792	0	12.9792
24	0.629118	9.63886	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.92283	9.31856	8.85436	0	8.85436
25	0.629118	4.01209	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.83856	6.03932	2.13093	0	2.13093

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
47.9542	-43.5265
74.666	-39.734
122.47	-39.734
141.368	-39.734

External Boundary

X	Y
37.2474	-40.1261
29.319	-47.1261
0.0229799	-48.0048
0.0229799	-84.0734
141.368	-84.0734
141.368	-56.1261
141.368	-43.5554
141.368	-43.0339
141.368	-36.0798
99.2257	-29.5322
65.4216	-29.5322
44.1622	-40.1261

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
44.8402	-40.1261
51.1794	-47.0484
117.489	-50.1158
141.368	-43.0339

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
50.9595	-47.5486

Material Boundary

X	Y
117.55	-50.6192
141.368	-43.5554

Material Boundary

X	Y
29.319	-47.1261
47.8527	-49.9675
50.9595	-47.5486
117.55	-50.6192
141.368	-56.1261



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS	
	Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez	
Habilitación Profesional		
2/10 2025		
 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]		

3.2.4. ROTURA POLIGONAL

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 1 - Poligonal

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil C-C'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Search Method: Auto Refine Search

Divisions along slope: 10
 Circles per division: 10
 Number of iterations: 10
 Divisions to use in next iteration: 50%
 Number of vertices per surface: 12
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	5	5	15	50
Friction Angle [deg]	20	26	26	40	45
Water Surface	None	None	Water Table	None	None
Hu Value			1		
Ru Value	0	0		0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.460080
 Axis Location: 48.085, -14.664
 Left Slip Surface Endpoint: 47.390, -38.518
 Right Slip Surface Endpoint: 66.751, -29.532
 Resisting Moment=12534.8 kN-m
 Driving Moment=8585.02 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.456020
 Axis Location: 48.063, -14.725
 Left Slip Surface Endpoint: 47.396, -38.515
 Right Slip Surface Endpoint: 66.695, -29.532
 Resisting Moment=11468.6 kN-m
 Driving Moment=7876.67 kN-m
 Resisting Horizontal Force=427.401 kN
 Driving Horizontal Force=293.54 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 2526
 Number of Invalid Surfaces: 1976

Error Codes:

Error Code -105 reported for 136 surfaces
 Error Code -106 reported for 960 surfaces

Error Code -107 reported for 152 surfaces
Error Code -108 reported for 473 surfaces
Error Code -110 reported for 228 surfaces
Error Code -123 reported for 10 surfaces
Error Code -1000 reported for 17 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2476
Number of Invalid Surfaces: 2026

Error Codes:

Error Code -105 reported for 136 surfaces
Error Code -106 reported for 960 surfaces
Error Code -107 reported for 152 surfaces
Error Code -108 reported for 515 surfaces
Error Code -110 reported for 228 surfaces
Error Code -111 reported for 8 surfaces
Error Code -123 reported for 10 surfaces
Error Code -1000 reported for 17 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
-106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
-107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
-110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
-111 = safety factor equation did not converge
-123 = Surface radius equal or less than the internal cutoff of 0.01.
-1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.46008

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.12898	9.7614	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.15556	10.4477	11.1694	0	11.1694
2	1.05921	24.3304	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.4705	16.7478	24.0866	0	24.0866
3	0.675678	21.2036	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.6836	19.9791	30.7116	0	30.7116
4	0.675678	24.8965	Residuo nuevo - RNP	5	26	15.4799	22.6019	36.0893	0	36.0893
5	0.824787	34.6596	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.5278	24.1319	39.2262	0	39.2262

SLIDEINTERPRET 6.005



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icoge-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



6	0.824787	38.6897	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.0727	26.3876	43.851	0	43.851
7	0.956947	49.0647	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.8206	27.4796	46.0899	0	46.0899
8	0.956947	52.74	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.9955	29.195	49.6071	0	49.6071
9	1.04567	60.8515	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.319	29.6673	50.5755	0	50.5755
10	1.04567	63.2795	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.0082	30.6737	52.639	0	52.639
11	0.701351	43.3712	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.7984	30.3674	52.0108	0	52.0108
12	0.701351	43.5991	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.8922	30.5043	52.2915	0	52.2915
13	0.701351	43.8271	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.986	30.6412	52.5721	0	52.5721
14	0.664748	41.3407	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.2968	29.6349	50.5091	0	50.5091
15	0.664748	40.7267	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.0379	29.257	49.7343	0	49.7343
16	0.664748	40.1127	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.7792	28.8792	48.9595	0	48.9595
17	0.858594	50.1385	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.6336	27.2066	45.5304	0	45.5304
18	0.858594	47.5889	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.8276	26.0297	43.1173	0	43.1173
19	0.702799	36.4474	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.2553	23.7341	38.4107	0	38.4107
20	0.702799	33.5216	Residuo nuevo - RNP	5	26	15.1659	22.1434	35.1492	0	35.1492
21	0.565765	24.3413	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.3155	19.4417	29.6098	0	29.6098
22	0.565765	21.4082	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.0198	17.5498	25.7308	0	25.7308
23	0.618324	19.1632	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.74252	14.2249	18.9138	0	18.9138
24	0.618324	11.6862	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.8861	10.0543	10.3627	0	10.3627
25	0.577872	3.46744	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.91863	5.72151	1.47932	0	1.47932

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.45602

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.11606	9.35548	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.45045	10.848	11.9902	0	11.9902
2	1.05861	23.0525	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.9798	17.4429	25.5118	0	25.5118
3	0.701369	20.395	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.0192	20.4122	31.5998	0	31.5998
4	0.701369	23.6097	Residuo nuevo - RNP	5	26	15.8823	23.1249	37.1616	0	37.1616
5	0.645407	24.125	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.2693	23.6884	38.3168	0	38.3168



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



6	0.645407	25.9652	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.2736	25.1507	41.3151	0	41.3151
7	0.645407	27.8053	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.2512	26.5741	44.2335	0	44.2335
8	0.829551	37.8955	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.0483	26.2787	43.6279	0	43.6279
9	0.829551	39.8442	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.6527	27.1587	45.432	0	45.432
10	0.829551	41.7929	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.2199	27.9845	47.1253	0	47.1253
11	0.682634	35.5364	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.6088	27.0948	45.301	0	45.301
12	0.682634	36.2233	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.7269	27.2668	45.6537	0	45.6537
13	0.682634	36.9101	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.8446	27.4381	46.005	0	46.005
14	0.682634	37.5969	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.9642	27.6123	46.3622	0	46.3622
15	0.747814	41.5916	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.0783	26.3223	43.7172	0	43.7172
16	0.747814	41.649	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.976	26.1734	43.4119	0	43.4119
17	0.747814	41.7064	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.9002	26.063	43.1855	0	43.1855
18	0.888951	48.9816	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.7906	24.4475	39.8732	0	39.8732
19	0.888951	47.721	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.4693	23.9797	38.9141	0	38.9141
20	0.66147	34.2231	Residuo nuevo - RNP	5	26	15.2195	22.1599	35.183	0	35.183
21	0.66147	32.5888	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.773	21.5098	33.8502	0	33.8502
22	1.04977	46.7733	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.068	19.0272	28.7601	0	28.7601
23	0.764448	28.3121	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.8774	15.8377	22.2206	0	22.2206
24	0.703669	17.966	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.97599	11.6132	13.5591	0	13.5591
25	0.703669	6.01558	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.34611	6.32802	2.72285	0	2.72285

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
47.9542	-43.5265
74.666	-39.734
122.47	-39.734
141.368	-39.734

External Boundary

X	Y
---	---



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

2/10 2025

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

VISADO : 03202500128



Validar

icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

37.2474	-40.1261
29.319	-47.1261
0.0229799	-48.0048
0.0229799	-84.0734
141.368	-84.0734
141.368	-56.1261
141.368	-43.5554
141.368	-43.0339
141.368	-36.0798
99.2257	-29.5322
65.4216	-29.5322
44.1622	-40.1261

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
44.8402	-40.1261
51.1794	-47.0484
117.489	-50.1158
141.368	-43.0339

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
50.9595	-47.5486

Material Boundary

X	Y
117.55	-50.6192
141.368	-43.5554

Material Boundary

X	Y
29.319	-47.1261
47.8527	-49.9675
50.9595	-47.5486
117.55	-50.6192
141.368	-56.1261

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
	Habilitación Profesional Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
	VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]

3.3. SITUACIÓN ACCIDENTAL TIPO 2

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional	2/10 2025	 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]
--	--------------	--

3.3.1. ROTURA POR LA MASA DE RESIDUO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 2 - Circular - Residuo

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil C-C'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search
 Radius Increment: 10
 Composite Surfaces: Disabled
 Reverse Curvature: Create Tension Crack
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización saturado	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	0	5	15	50
Friction Angle [deg]	20	18	26	40	45
Water Surface	None	None	Water Table	None	Water Table
Hu Value			1		1
Ru Value	0	0		0	

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.558310
 Center: 44.873, -7.216
 Radius: 31.028
 Left Slip Surface Endpoint: 48.326, -38.051
 Right Slip Surface Endpoint: 66.431, -29.532
 Resisting Moment=9789.22 kN-m
 Driving Moment=6281.95 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.556610
 Center: 44.873, -7.216
 Radius: 31.028
 Left Slip Surface Endpoint: 48.326, -38.051
 Right Slip Surface Endpoint: 66.431, -29.532
 Resisting Moment=9778.58 kN-m
 Driving Moment=6281.95 kN-m
 Resisting Horizontal Force=282.071 kN
 Driving Horizontal Force=181.208 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 859
 Number of Invalid Surfaces: 3992

Error Codes:

Error Code -103 reported for 377 surfaces

Error Code -106 reported for 2 surfaces
 Error Code -107 reported for 1087 surfaces
 Error Code -108 reported for 43 surfaces
 Error Code -110 reported for 417 surfaces
 Error Code -112 reported for 44 surfaces
 Error Code -113 reported for 42 surfaces
 Error Code -1000 reported for 1980 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 841
 Number of Invalid Surfaces: 4010

Error Codes:

Error Code -103 reported for 377 surfaces
 Error Code -106 reported for 2 surfaces
 Error Code -107 reported for 1087 surfaces
 Error Code -108 reported for 61 surfaces
 Error Code -110 reported for 417 surfaces
 Error Code -112 reported for 44 surfaces
 Error Code -113 reported for 42 surfaces
 Error Code -1000 reported for 1980 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 106 = Average slice width is less than $0.0001 \times$ (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1 . This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi))/F < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 113 = Surface intersects outside slope limits.
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.55831

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.724209	1.76742	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.82425	5.95937	1.967	0	1.967
2	0.724209	5.18902	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.21018	8.11908	6.39507	0	6.39507
			Residuo nuevo							

SLIDEINTERPRET 6.005

2/10
2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



			- RNP							
4	0.724209	11.3465	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.64219	11.9089	14.1654	0	14.1654
5	0.724209	14.0767	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.69002	13.5417	17.5131	0	17.5131
6	0.724209	16.5701	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.62652	15.0011	20.5053	0	20.5053
7	0.724209	18.8226	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.4521	16.2876	23.143	0	23.143
8	0.724209	20.8295	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.1668	17.4013	25.4265	0	25.4265
9	0.724209	22.5859	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.7706	18.3422	27.3556	0	27.3556
10	0.724209	24.0858	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.2632	19.1098	28.9293	0	28.9293
11	0.724209	25.3226	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.644	19.7033	30.1462	0	30.1462
12	0.724209	26.2892	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.9124	20.1215	31.0037	0	31.0037
13	0.724209	26.9773	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.0674	20.3631	31.4989	0	31.4989
14	0.724209	27.3777	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.1078	20.426	31.6281	0	31.6281
15	0.724209	27.4801	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.0322	20.3082	31.3865	0	31.3865
16	0.724209	27.2729	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.8388	20.0069	30.7687	0	30.7687
17	0.724209	26.7432	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.5258	19.5191	29.7686	0	29.7686
18	0.724209	25.8763	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.0907	18.8411	28.3785	0	28.3785
19	0.724209	24.6556	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.5311	17.9691	26.5905	0	26.5905
20	0.724209	23.0621	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.8439	16.8982	24.395	0	24.395
21	0.724209	21.0743	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.0259	15.6235	21.7814	0	21.7814
22	0.724209	18.6674	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.07332	14.139	18.7379	0	18.7379
23	0.724209	15.8126	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.98197	12.4384	15.251	0	15.251
24	0.724209	12.1122	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.62376	10.3219	10.9115	0	10.9115
25	0.724209	4.41618	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.95866	6.16882	2.39644	0	2.39644

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.55661

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.724209	1.76742	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.90026	6.07118	2.19625	0	2.19625
2	0.724209	5.18902	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.45769	8.49549	7.16681	0	7.16681
			Residuo nuevo							

 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Habilitación Profesional Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez 2/10 2025 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 			- RNP								
	9	0.724209	22.5859	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.483	19.4312	29.5883	0	29.5883
	10	0.724209	24.0858	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.8121	19.9435	30.6387	0	30.6387
	11	0.724209	25.3226	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.9905	20.2212	31.2082	0	31.2082
	12	0.724209	26.2892	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.0352	20.2908	31.3509	0	31.3509
	13	0.724209	26.9773	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.9637	20.1795	31.1226	0	31.1226
	14	0.724209	27.3777	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.7924	19.9128	30.5758	0	30.5758
	15	0.724209	27.4801	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.5351	19.5122	29.7544	0	29.7544
	16	0.724209	27.2729	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.2022	18.9941	28.6921	0	28.6921
	17	0.724209	26.7432	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.8004	18.3686	27.4097	0	27.4097
	18	0.724209	25.8763	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.3322	17.6398	25.9155	0	25.9155
	19	0.724209	24.6556	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.796	16.8051	24.2042	0	24.2042
	20	0.724209	23.0621	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.1858	15.8553	22.2568	0	22.2568
	21	0.724209	21.0743	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.49091	14.7736	20.039	0	20.039
	22	0.724209	18.6674	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.69471	13.5343	17.4978	0	17.4978
	23	0.724209	15.8126	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.77323	12.0999	14.5569	0	14.5569
	24	0.724209	12.1122	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.57286	10.2314	10.7259	0	10.7259
	25	0.724209	4.41618	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.99823	6.22369	2.50895	0	2.50895

List Of Coordinators

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
47.9542	-43.5265
74.666	-39.734
122.47	-39.734

141.368	-39.734
---------	---------

External Boundary

X	Y
37.2474	-40.1261
29.319	-47.1261
0.0229799	-48.0048
0.0229799	-84.0734
141.368	-84.0734
141.368	-56.1261
141.368	-43.5554
141.368	-43.0339
141.368	-36.0798
99.2257	-29.5322
65.4216	-29.5322
44.1622	-40.1261

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
44.8402	-40.1261
51.1794	-47.0484
117.489	-50.1158
141.368	-43.0339

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
50.9595	-47.5486

Material Boundary

X	Y
117.55	-50.6192
141.368	-43.5554

Material Boundary

X	Y
29.319	-47.1261
47.8527	-49.9675
50.9595	-47.5486
117.55	-50.6192
141.368	-56.1261



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



 ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez Habilitación Profesional	2/10 2025	 VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]
--	--------------	--

3.3.2. ROTURA CONTACTO VERTEDERO-TERRENO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 2 - Circular - vertedero y terreno

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil C-C'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search

Radius Increment: 10

Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack

Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización saturado	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	0	5	15	50
Friction Angle [deg]	20	18	26	40	45
Water Surface	Water Table	None	Water Table	None	Water Table
Hu Value	1		1		1
Ru Value		0		0	

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.986600
Center: 15.925, 52.562
Radius: 100.584
Left Slip Surface Endpoint: 29.319, -47.126
Right Slip Surface Endpoint: 74.043, -29.532
Resisting Moment=247836 kN-m
Driving Moment=124754 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 2.030780
Center: 20.750, 35.483
Radius: 83.052
Left Slip Surface Endpoint: 29.319, -47.126
Right Slip Surface Endpoint: 72.429, -29.532
Resisting Moment=208422 kN-m
Driving Moment=102632 kN-m
Resisting Horizontal Force=2353.14 kN
Driving Horizontal Force=1158.74 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 2048
Number of Invalid Surfaces: 16443

Error Codes:

Error Code -101 reported for 64 surfaces
Error Code -103 reported for 1223 surfaces
Error Code -106 reported for 1 surface
Error Code -107 reported for 51 surfaces
Error Code -108 reported for 1 surface
Error Code -109 reported for 4 surfaces
Error Code -110 reported for 3131 surfaces
Error Code -112 reported for 34 surfaces

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Error Code -118 reported for 318 surfaces
Error Code -1000 reported for 11616 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2009
Number of Invalid Surfaces: 16482

Error Codes:

Error Code -101 reported for 64 surfaces
Error Code -103 reported for 1223 surfaces
Error Code -106 reported for 1 surface
Error Code -107 reported for 51 surfaces
Error Code -108 reported for 31 surfaces
Error Code -109 reported for 4 surfaces
Error Code -110 reported for 3131 surfaces
Error Code -111 reported for 1 surface
Error Code -112 reported for 42 surfaces
Error Code -118 reported for 318 surfaces
Error Code -1000 reported for 11616 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- 103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- 106 = Average slice width is less than $0.0001 \times$ (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1 . This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 111 = safety factor equation did not converge
- 112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- 118 = Surface does not pass through the search focus
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.9866

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.75937	22.8915	Dique	15	40	12.3019	24.439	11.249	0	11.249
2	1.75937	68.1142	Dique	15	40	22.378	44.4562	35.1046	0	35.1046
3	1.75937	112.211	Dique	15	40	32.0578	63.6861	58.022	0	58.022
4	1.75937	155.172	Dique	15	40	41.3454	82.1368	80.0107	0	80.0107
5	1.75937	190.326	Dique	15	40	48.7797	96.9057	97.6117	0	97.6117

SLIDEINTERPRET 6.005



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128



Validar

icog.e-gestion.es [FV1MFR6tWEBCBRR]

6	1.75937	183.329	Dique	15	40	46.8987	93.169	93.1579	0	93.1579
7	1.75937	168.149	Dique	15	40	43.2669	85.954	84.5599	0	84.5599
8	1.75937	151.778	Dique	15	40	39.4275	78.3266	75.4696	0	75.4696
9	1.75937	131.257	Dique	15	40	34.7533	69.0409	64.4037	0	64.4037
10	1.75937	120.797	Dique	15	40	32.2772	64.1219	58.5414	0	58.5414
11	0.521797	38.992	Impermeabilización saturado	0	18	11.6022	23.0489	70.9374	0	70.9374
12	1.90058	157.815	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.1351	41.9869	75.8343	0	75.8343
13	1.90058	167.313	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.1543	44.0118	79.9859	0	79.9859
14	1.90058	175.33	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.986	45.664	83.3734	0	83.3734
15	1.90058	181.833	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.6285	46.9404	85.9906	0	85.9906
16	1.90058	186.784	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.0799	47.8371	87.8288	0	87.8288
17	1.90058	190.142	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.338	48.3498	88.8804	0	88.8804
18	1.90058	191.862	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.4003	48.4736	89.1339	0	89.1339
19	1.90058	191.896	Residuo nuevo - RNP	5	26	24.2641	48.203	88.579	0	88.579
20	1.90058	190.189	Residuo nuevo - RNP	5	26	23.9262	47.5317	87.203	0	87.203
21	1.90058	182.028	Residuo nuevo - RNP	5	26	22.8554	45.4045	82.8417	0	82.8417
22	1.90058	147.743	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.8481	37.4437	66.5194	0	66.5194
23	1.90058	108.03	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.2792	28.3671	47.9097	0	47.9097
24	1.90058	66.2989	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.54173	18.9556	28.6132	0	28.6132
25	1.90058	22.4589	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.6329	9.20372	8.6189	0	8.6189

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 2.03078

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.77419	24.1839	Dique	15	40	12.6923	25.7752	12.8414	0	12.8414
2	1.77419	71.8633	Dique	15	40	23.9375	48.6118	40.057	0	40.057
3	1.77419	118.16	Dique	15	40	35.0477	71.1741	66.9455	0	66.9455
4	1.77419	163.06	Dique	15	40	45.841	93.093	93.0674	0	93.0674
5	1.77419	198.704	Dique	15	40	54.351	110.375	113.663	0	113.663
6	1.77419	191.285	Dique	15	40	52.8132	107.252	109.941	0	109.941
7	1.77419	176.31	Dique	15	40	49.2535	100.023	101.327	0	101.327
8	1.77419	159.862	Dique	15	40	45.1029	91.594	91.2814	0	91.2814
9	1.77419	138.646	Dique	15	40	39.7281	80.6791	78.2735	0	78.2735
10	1.77419	129.584	Dique	15	40	36.8621	74.8588	71.3369	0	71.3369
11	0.517847	40.8648	Impermeabilización saturado	0	18	11.5989	23.5548	72.4941	0	72.4941
12	1.77498	154.03	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.2966	43.2487	78.4213	0	78.4213
13	1.77498	161.479	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.5186	43.6995	79.3457	0	79.3457
14	1.77498	167.443	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.5923	43.8492	79.6525	0	79.6525
15	1.77498	171.883	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.5434	43.75	79.4493	0	79.4493
16	1.77498	174.751	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.3929	43.4443	78.8222	0	78.8222
17	1.77498	175.999	Residuo nuevo - RNP	5	26	21.1561	42.9634	77.8363	0	77.8363
18	1.77498	175.571	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.8428	42.3272	76.5322	0	76.5322
19	1.77498	173.403	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.4571	41.5438	74.9258	0	74.9258
20	1.77498	169.427	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.9973	40.6102	73.0116	0	73.0116
21	1.77498	163.566	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.4559	39.5107	70.7575	0	70.7575
22	1.77498	143.045	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.4209	35.378	62.284	0	62.284
23	1.77498	104.92	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.4911	27.3974	45.9216	0	45.9216
24	1.77498	64.5738	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.24384	18.7722	28.2372	0	28.2372
25	1.77498	21.9204	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.56873	9.27808	8.77134	0	8.77134

Water Table

X	Y
47.9542	-43.5265
74.666	-39.734
122.47	-39.734
141.368	-39.734

Focus Search Line

X	Y
29.319	-47.1261
51.1794	-47.0484

External Boundary

X	Y
37.2474	-40.1261
29.319	-47.1261
0.0229799	-48.0048
0.0229799	-84.0734
141.368	-84.0734
141.368	-56.1261
141.368	-43.5554
141.368	-43.0339
141.368	-36.0798
99.2257	-29.5322
65.4216	-29.5322
44.1622	-40.1261

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
44.8402	-40.1261
51.1794	-47.0484
117.489	-50.1158
141.368	-43.0339

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
50.9595	-47.5486

Material Boundary

X	Y
117.55	-50.6192
141.368	-43.5554



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. n° 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



Material Boundary

X	Y
29.319	-47.1261
47.8527	-49.9675
50.9595	-47.5486
117.55	-50.6192
141.368	-56.1261



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

2/10

2025



VISADO : 03202500128

validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6TTWBCBRR]

	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

3.3.3. ESTABILIDAD CONJUNTA DEL VERTEDERO

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 2 - Circular - global
Slide Modeler Version: 6.005
Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta
Analysis: Perfil C-C'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Right to Left
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular

Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización saturado	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	0	5	15	50
Friction Angle [deg]	20	18	26	40	45
Water Surface	Water Table	None	Water Table	None	Water Table
Hu Value	1		1		1
Ru Value		0		0	

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.575720
Center: 49.698, -15.756
Radius: 21.337
Left Slip Surface Endpoint: 50.264, -37.086
Right Slip Surface Endpoint: 65.992, -29.532
Resisting Moment=6087.19 kN-m
Driving Moment=3863.13 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.572350
Center: 49.698, -15.756
Radius: 21.337
Left Slip Surface Endpoint: 50.264, -37.086
Right Slip Surface Endpoint: 65.992, -29.532
Resisting Moment=6074.18 kN-m
Driving Moment=3863.13 kN-m
Resisting Horizontal Force=253.321 kN
Driving Horizontal Force=161.11 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 2621
Number of Invalid Surfaces: 15870

Error Codes:

Error Code -103 reported for 2663 surfaces

Error Code -106 reported for 29 surfaces
 Error Code -107 reported for 4088 surfaces
 Error Code -108 reported for 106 surfaces
 Error Code -110 reported for 3881 surfaces
 Error Code -112 reported for 54 surfaces
 Error Code -1000 reported for 5049 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2568
 Number of Invalid Surfaces: 15923

Error Codes:

Error Code -103 reported for 2663 surfaces
 Error Code -106 reported for 29 surfaces
 Error Code -107 reported for 4088 surfaces
 Error Code -108 reported for 154 surfaces
 Error Code -110 reported for 3881 surfaces
 Error Code -112 reported for 59 surfaces
 Error Code -1000 reported for 5049 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
 -106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
 -107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
 -108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
 -110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
 -112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
 -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.57572

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.629118	1.62791	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.92396	6.18306	2.42563	0	2.42563
2	0.629118	4.77819	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.40544	8.51746	7.21186	0	7.21186
3	0.629118	7.7167	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.75916	10.6505	11.5853	0	11.5853
4	0.629118	10.4418	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.98733	12.5858	15.5532	0	15.5532

SLIDEINTERPRET 6.005



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar coog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



5	0.629118	12.9514	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.09172	14.326	19.1212	0	19.1212
6	0.629118	15.2425	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.0737	15.8734	22.2938	0	22.2938
7	0.629118	17.3117	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.9343	17.2294	25.0741	0	25.0741
8	0.629118	19.1547	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.6741	18.3951	27.4642	0	27.4642
9	0.629118	20.7665	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.2934	19.3709	29.4646	0	29.4646
10	0.629118	22.1414	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.7919	20.1565	31.0754	0	31.0754
11	0.629118	23.2724	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.1693	20.7511	32.2946	0	32.2946
12	0.629118	24.1518	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.4246	21.1534	33.1193	0	33.1193
13	0.629118	24.7704	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.5565	21.3613	33.5457	0	33.5457
14	0.629118	25.1177	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.5634	21.3721	33.5678	0	33.5678
15	0.629118	25.1816	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.4431	21.1825	33.1791	0	33.1791
16	0.629118	24.9481	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.1929	20.7883	32.3708	0	32.3708
17	0.629118	24.4008	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.8097	20.1845	31.1329	0	31.1329
18	0.629118	23.5207	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.2897	19.3652	29.4531	0	29.4531
19	0.629118	22.2854	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.6287	18.3235	27.3173	0	27.3173
20	0.629118	20.6685	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.8212	17.0512	24.7087	0	24.7087
21	0.629118	18.6383	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.86152	15.539	21.6083	0	21.6083
22	0.629118	16.1564	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.74265	13.776	17.9934	0	17.9934
23	0.629118	13.1761	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.45657	11.7495	13.8384	0	13.8384
24	0.629118	9.63886	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.99412	9.44506	9.11373	0	9.11373
25	0.629118	4.01209	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.8133	6.0087	2.06815	0	2.06815

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.57235

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.629118	1.62791	Residuo nuevo - RNP	5	26	4.00786	6.30176	2.669	0	2.669
2	0.629118	4.77819	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.68543	8.93948	8.07714	0	8.07714
3	0.629118	7.7167	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.26875	11.429	13.1814	0	13.1814
4	0.629118	10.4418	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.72203	13.7141	17.8666	0	17.8666



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10

2025

VISADO : 03202500128

Validar [icog.e-gestion.es \[FV1MFR6ITWBCBRR\]](https://icog.e-gestion.es/FV1MFR6ITWBCBRR)



5	0.629118	12.9514	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.0135	15.7447	22.0299	0	22.0299
6	0.629118	15.2425	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.1184	17.482	25.5919	0	25.5919
7	0.629118	17.3117	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.0214	18.9018	28.5029	0	28.5029
8	0.629118	19.1547	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.7169	19.9954	30.745	0	30.745
9	0.629118	20.7665	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.2091	20.7694	32.3321	0	32.3321
10	0.629118	22.1414	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.5105	21.2432	33.3037	0	33.3037
11	0.629118	23.2724	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.6394	21.4459	33.7191	0	33.7191
12	0.629118	24.1518	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.6175	21.4115	33.6486	0	33.6486
13	0.629118	24.7704	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.4674	21.1754	33.1645	0	33.1645
14	0.629118	25.1177	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.2098	20.7704	32.3341	0	32.3341
15	0.629118	25.1816	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.8621	20.2237	31.2133	0	31.2133
16	0.629118	24.9481	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.4371	19.5554	29.8429	0	29.8429
17	0.629118	24.4008	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.9419	18.7769	28.2468	0	28.2468
18	0.629118	23.5207	Residuo nuevo - RNP	5	26	11.3788	17.8915	26.4315	0	26.4315
19	0.629118	22.2854	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.7443	16.8938	24.386	0	24.386
20	0.629118	20.6685	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.0296	15.77	22.0817	0	22.0817
21	0.629118	18.6383	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.21935	14.4961	19.4698	0	19.4698
22	0.629118	16.1564	Residuo nuevo - RNP	5	26	8.2907	13.0359	16.4761	0	16.4761
23	0.629118	13.1761	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.20971	11.3362	12.9911	0	12.9911
24	0.629118	9.63886	Residuo nuevo - RNP	5	26	5.92717	9.31958	8.85645	0	8.85645
25	0.629118	4.01209	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.84	6.03783	2.12786	0	2.12786

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
47.9542	-43.5265
74.666	-39.734
122.47	-39.734
141.368	-39.734

External Boundary

X	Y
37.2474	-40.1261
29.319	-47.1261
0.0229799	-48.0048
0.0229799	-84.0734
141.368	-84.0734
141.368	-56.1261
141.368	-43.5554
141.368	-43.0339
141.368	-36.0798
99.2257	-29.5322
65.4216	-29.5322
44.1622	-40.1261

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
44.8402	-40.1261
51.1794	-47.0484
117.489	-50.1158
141.368	-43.0339

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
50.9595	-47.5486

Material Boundary

X	Y
117.55	-50.6192
141.368	-43.5554

Material Boundary

X	Y
29.319	-47.1261
47.8527	-49.9675
50.9595	-47.5486
117.55	-50.6192
141.368	-56.1261



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS
Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación
Profesional

2/10
2025

VISADO : 03202500128
Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



	ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez
2/10 2025	
VISADO : 03202500128 Validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR] 	

3.3.4. ROTURA POLIGONAL

Slide Analysis Information

Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Project Summary

File Name: Tipo 2 - Poligonal

Slide Modeler Version: 6.005

Project Title: Estudio de estabilidad de la fase 3 del vertedero de Bistibieta

Analysis: Perfil C-C'

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: days

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Right to Left

Data Output: Standard

Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine

Number of slices: 25

Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Check malpha < 0.2: Yes

Initial trial value of FS: 1

Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3

Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116

Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Search Method: Auto Refine Search

Divisions along slope: 10
 Circles per division: 10
 Number of iterations: 10
 Divisions to use in next iteration: 50%
 Number of vertices per surface: 12
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Property	Residuo antiguo	Impermeabilización saturado	Residuo nuevo - RNP	Dique	Sustrato rocoso
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	16	5	18	20	26
Cohesion [kPa]	14	0	5	15	50
Friction Angle [deg]	20	18	26	40	45
Water Surface	None	None	Water Table	None	Water Table
Hu Value			1		1
Ru Value	0	0		0	

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.462130
 Axis Location: 48.206, -14.757
 Left Slip Surface Endpoint: 47.512, -38.457
 Right Slip Surface Endpoint: 66.750, -29.532
 Resisting Moment=12341.4 kN-m
 Driving Moment=8440.66 kN-m

Method: gle/morgenstern-price

FS: 1.456630
 Axis Location: 48.090, -14.697
 Left Slip Surface Endpoint: 47.405, -38.510
 Right Slip Surface Endpoint: 66.730, -29.532
 Resisting Moment=11470.3 kN-m
 Driving Moment=7874.56 kN-m
 Resisting Horizontal Force=427.292 kN
 Driving Horizontal Force=293.343 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 2333
 Number of Invalid Surfaces: 2169

Error Codes:

Error Code -105 reported for 57 surfaces
 Error Code -106 reported for 890 surfaces

Error Code -107 reported for 158 surfaces
Error Code -108 reported for 652 surfaces
Error Code -110 reported for 406 surfaces
Error Code -1000 reported for 6 surfaces

Method: gle/morgenstern-price

Number of Valid Surfaces: 2268
Number of Invalid Surfaces: 2234

Error Codes:

Error Code -105 reported for 57 surfaces
Error Code -106 reported for 890 surfaces
Error Code -107 reported for 158 surfaces
Error Code -108 reported for 709 surfaces
Error Code -110 reported for 406 surfaces
Error Code -111 reported for 8 surfaces
Error Code -1000 reported for 6 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
- 106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.
- 107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 110 = The water table or a piezoline does not span the slip region for a given slip surface, when Water Surfaces is specified as the method of pore pressure calculation. If this error occurs, check that the water table or piezoline(s) span the appropriate soil cells.
- 111 = safety factor equation did not converge
- 1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.46213

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.884597	6.29813	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.67655	9.76199	9.76354	0	9.76354
2	1.08251	22.0975	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.7128	15.6635	21.8634	0	21.8634
3	0.713627	21.1128	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.1505	19.2277	29.1712	0	29.1712
4	0.713627	25.3921	Residuo nuevo - RNP	5	26	15.13	22.1221	35.1054	0	35.1054
5	0.892912	36.8403	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.2862	23.8125	38.5715	0	38.5715
6	0.892912	41.6238	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.98	26.2891	43.6491	0	43.6491
			Residuo nuevo							

SLIDEINTERPRET 6.005

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez

Habilitación Profesional

2/10 2025

VISADO : 03202500128

Validar icog.e-gestiones.es [FV1MFR6ITWBCBRR]




			- RNP							
8	0.706011	37.7153	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.414	28.3858	47.948	0	47.948
9	0.706011	39.6572	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.2526	29.612	50.4621	0	50.4621
10	1.05894	62.0632	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.3452	29.7473	50.7395	0	50.7395
11	1.05894	64.3141	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.9732	30.6656	52.6223	0	52.6223
12	0.705613	43.6563	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.6968	30.2614	51.7935	0	51.7935
13	0.705613	43.7589	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.7385	30.3224	51.9185	0	51.9185
14	0.705613	43.8615	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.7802	30.3833	52.0436	0	52.0436
15	0.661752	40.8087	Residuo nuevo - RNP	5	26	20.0269	29.282	49.7853	0	49.7853
16	0.661752	40.0598	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.7118	28.8212	48.8408	0	48.8408
17	0.661752	39.311	Residuo nuevo - RNP	5	26	19.3967	28.3605	47.8961	0	47.8961
18	0.84212	48.1735	Residuo nuevo - RNP	5	26	18.1742	26.5731	44.2315	0	44.2315
19	0.84212	45.4223	Residuo nuevo - RNP	5	26	17.2941	25.2862	41.5928	0	41.5928
20	0.683451	34.2276	Residuo nuevo - RNP	5	26	15.6394	22.8669	36.6326	0	36.6326
21	0.683451	31.1876	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.4865	21.1811	33.176	0	33.176
22	0.864421	33.9349	Residuo nuevo - RNP	5	26	12.286	17.9637	26.5795	0	26.5795
23	0.614231	18.9585	Residuo nuevo - RNP	5	26	9.70193	14.1855	18.833	0	18.833
24	0.614231	11.5523	Residuo nuevo - RNP	5	26	6.85681	10.0255	10.3039	0	10.3039
25	0.575755	3.44065	Residuo nuevo - RNP	5	26	3.90922	5.7158	1.4676	0	1.4676

Global Minimum Query (gle/morgenstern-price) - Safety Factor: 1.45663

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	1.09746	9.10744	Residuo nuevo - RNP	5	26	7.42337	10.8131	11.9186	0	11.9186
2	0.601315	11.6607	Residuo nuevo - RNP	5	26	10.8935	15.8678	22.2823	0	22.2823
3	0.601315	15.0218	Residuo nuevo - RNP	5	26	13.3065	19.3827	29.4889	0	29.4889
4	0.91249	27.8468	Residuo nuevo - RNP	5	26	14.377	20.9419	32.6858	0	32.6858
5	0.91249	32.8493	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.5476	24.1037	39.1685	0	39.1685
6	0.736002	29.5573	Residuo nuevo - RNP	5	26	16.93	24.6608	40.3105	0	40.3105
			Residuo nuevo							

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS  Habilitación Profesional Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez 2/10 2025 3 [FR6ITWBCBRR]												

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
47.9542	-43.5265
74.666	-39.734
122.47	-39.734
141.368	-39.734

External Boundary

X	Y
37.2474	-40.1261
29.319	-47.1261

0.0229799	-48.0048
0.0229799	-84.0734
141.368	-84.0734
141.368	-56.1261
141.368	-43.5554
141.368	-43.0339
141.368	-36.0798
99.2257	-29.5322
65.4216	-29.5322
44.1622	-40.1261



Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
44.8402	-40.1261
51.1794	-47.0484
117.489	-50.1158
141.368	-43.0339

Material Boundary

X	Y
44.1622	-40.1261
50.9595	-47.5486

2/10
2025

Material Boundary

X	Y
117.55	-50.6192
141.368	-43.5554

Material Boundary

X	Y
29.319	-47.1261
47.8527	-49.9675
50.9595	-47.5486
117.55	-50.6192
141.368	-56.1261

VISADO : 03202500128

validar icog.e-gestion.es [FV1MFR6ITWBCBRR]



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS

Habilitación
Profesional

Col. nº 2226 Guillermo Bernal Martínez