

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA Y MODELACIÓN DE ESTABILIDAD
DEL BARRIO 10 DE MAYO, DEL MUNICIPIO DEL GIRARDOT
CUNDINAMARCA.**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

OSCAR NICOLAS GARCIA MASMELA

KARIN PATRICIA MARTINEZ PAEZ

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

GIRARDOT

NOVIEMBRE 2019

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA Y MODELACIÓN DE ESTABILIDAD DEL
BARRIO 10 DE MAYO, DEL MUNICIPIO DEL GIRARDOT CUNDINAMARCA.**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

OSCAR NICOLAS GARCIA MASMELA

KARIN PATRICIA MARTINEZ PAEZ

DIRECTOR:

JAIRO EDMUNDO YEPES HEREDIA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

GIRARDOT

NOVIEMBRE 2019

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Índice

Resumen.....	9
1. Introducción.....	13
2. Justificación.....	15
3. Objetivos.....	16
3.1 Objetivo General.....	16
3.2 objetivos específicos	16
4. Marco referencial.....	17
4.1 Antecedentes	17
5. Marco conceptual	18
6. Marco teórico	29
7. Marco legal	76
7.1 Localización	77
7.2 Descripción.....	77
7.3 Límite de la zona de estudio	77
8. Metodología	78
9. Alcance	80
10. Aporte.....	82
11. Conclusiones.....	84
12. Recomendaciones.....	85
13. Bibliografía.....	86

Índice de tablas

Tabla 1.....	21
Tabla 2.....	42
Tabla 3.....	45
Tabla 4.....	67
Tabla 5.....	67
Tabla 6.....	68
Tabla 7.....	72
Tabla 8.....	78
Tabla 9.....	113

Índice de graficas

Grafica 1...	21
Grafica 2...	46
Grafica 3...	46
Grafica 4...	46
Grafica 5...	47
Grafica 6...	48
Grafica 7...	49
Grafica 8...	69
Grafica 9...	69
Grafica 10...	70
Grafica 11...	70

Índice de ilustraciones

Ilustración 1	19
Ilustración 2	22
Ilustración 3	22
Ilustración 4	31
Ilustración 5	39
Ilustración 6	60
Ilustración 7	61
Ilustración 8	64
Ilustración 9	64
Ilustración 10	65
Ilustración 11	71
Ilustración 12	73
Ilustración 13	100
Ilustración 14	100
Ilustración 15	101
Ilustración 16	101
Ilustración 17	102
Ilustración 18	102
Ilustración 19	103
Ilustración 20	103
Ilustración 21	104
Ilustración 21	104
Ilustración 22	105

Ilustración 22	105
Ilustración 23	106
Ilustración 24	106
Ilustración 25	107
Ilustración 26	107
Ilustración 27	108
Ilustración 28	108
Ilustración 29	108
Ilustración 30	109
Ilustración 31	109
Ilustración 32	110
Ilustración 33	111
Ilustración 34	111
Ilustración 35	112
Ilustración 36	112

Resumen

Con este proyecto de investigación se busca analizar cómo la estabilidad y la geotecnia del terreno del sector del Barrio 10 de Mayo de la ciudad de Girardot, puede afectar las viviendas que están construidas sobre los terrenos de este lugar. Identificando los comportamientos del suelo y las características geológicas de este terreno, de forma que con ello se coadyuve a un apropiado diseño estructural que permitan contrarrestar de alguna forma los efectos del cambio imprevisible de la naturaleza ya que este sector ha sido vulnerable, a fallas estructurales provocando algunos casos el colapso de viviendas y el desalojo de la misma, de tal manera nos motivó a investigar mediante laboratorio de estudio de suelo, levantamiento topográfico, y estabilidad de taludes acerca de este terreno y sus fallas para diagnosticar que la está provocando, logrando así obtener información certera y poder darnos cuentas el origen de dicha falla del sector y de esta manera mitigar el riesgo a la cual está expuesta la comunidad del sector, brindándole nuevos procesos constructivos tales como refuerzo estructurales.

Palabras claves

- ❖ Destinado A
- ❖ Barrio
- ❖ Agrietamiento
- ❖ Cojinete
- ❖ Estabilidad
- ❖ Acuerdo
- ❖ Capacidad
- ❖ Pendiente
- ❖ Carga
- ❖ Muestra
- ❖ LaSeguridad

Abstract

This research project is intended to analyze the general stability of “10 de Mayo” neighborhood, located in Girardot city, in order to draw technical conclusions about the cracking processes observed in the houses. In order to achieve that, subsurface exploration, laboratory testing, slope stability analysis and bearing capacity calculations in the area were performed. The conclusions are in agreement with what is actually going on in the analyzed area. The slope stability showed factors of safety below 1.0, while the bearing capacity is lower than the structural load transmitted from the houses to the soil. Conclusions and recommendations are made after all the engineering calculations.

keywords

- ❖ Destined A
- ❖ Neighborhood
- ❖ Cracking
- ❖ Bearing
- ❖ Stability
- ❖ Agreement
- ❖ Capacity
- ❖ Pending
- ❖ Load
- ❖ Sample
- ❖ Security

Introducción

La ciudad de Girardot está ubicada según la Norma NSR-10 en una zona de amenaza sísmica intermedia. Las reducciones de los riesgos sísmicos se minimizan en gran medida en la forma en la que se construye las edificaciones que hay en el área afectada en relación con el tipo de suelo y la topografía del terreno. De ahí la importancia de un apropiado estudio geológico – geotécnico de los suelos, que brinden información confiable para el diseño estructural que conlleve a una adecuada construcción de viviendas, edificaciones y demás obras, garantizando la seguridad de las personas. Recientemente la ciudad carece de estudios actualizados de la caracterización geológica de la región, lo que genera incertidumbre en torno a la seguridad en las edificaciones construidas. Lo anterior implica la necesidad urgente de realizar una evaluación detallada de los principales factores como lo son los geológicos. (AVANZANDO, 2019)

La razón por la cual se escogió el sector del Barrio 10 mayo obedecen, entre otras a la configuración del suelo de dicho lugar pues al parecer allí se presentan variados problemas geológico – geotécnicos, que pueden afectar no sólo la construcción de viviendas sino también la convivencia misma dentro de las mismas, en términos de seguridad y tranquilidad. Otra razón que motivó la elección de esta zona, tiene que ver con la problemática causada por los distintos movimientos mázales y de taludes, que han generado la caída de casas en este sector, también se observa agrietamientos en pisos y paredes y fallas en el diseño estructural de todas las viviendas. Muros de contención agrietados. Sumado a esto se encontró la presencia de arenas limosas en el terreno, posiblemente por su cercanía al Rio Magdalena, lo que agudiza más la problemática presentada en el sector, ocasionando esto altos riesgos para sus habitantes, lo que ha conllevado como consecuencia el desalojo voluntario de algunos de los habitantes del lugar.

Planteamiento del problema

La amenaza que hoy en día afronta la comunidad del barrio 10 de mayo de la ciudad de Girardot a causa del terreno inestable y fallas geológicas presente en el terreno conformado por un talud donde se encuentran las viviendas construidas las cuales a simple vista podemos observar agrietamientos, mano de obra no calificada, fallas en muros de contención, desalojo, lotes baldíos evidenciando un colapso, resaltando que dicha comunidad es de escasos recursos económicos, estrato ,1 y 2 y por consiguiente no cuentan con los recursos para realizar intervenciones de obras civiles como reforzamiento estructural.

Específicamente con el objetivo de minimizar el riesgo para mejorar la calidad de vida a la cual se encuentran expuestas, de tal manera que por medio de esta investigación que se ha llevado a cabo, por medio de estudios de laboratorios (SPT) el cual nos arroja la capacidad portante del terreno e implementación del programa del slide nos indica la estabilidad del talud.

El estudio pretende identificar y analizar todas las características geológicas del suelo del sector para definir su composición y averiguar las causas por las cuales se están presentando los deslizamientos de tierra y problemas constructivos en las viviendas objeto de estudio.

¿Mediante estos análisis de obtención de resultados en el laboratorio, e implementando el programa slide podemos llegar a la causa de dichas fallas?

Justificación

Esta investigación se llevó a cabo con el objetivo de identificar la inestabilidad del terreno y la amenaza que esta genera al estar expuesta la comunidad del sector del barrio 10 de mayo, el talud del terreno donde se encuentra construidas las viviendas, conformadas por una comunidad de bajos recursos económicos agudizando el problema ya que no tienen los medios para poder realizar procesos de reforzamientos o mejoras de sus viviendas con el ánimo de mejorar la calidad de vida ya que se encuentran en alto riesgo que en cualquier momento suceda una catástrofe de índole natural como es el caso de un temblor debido al mal estado que se encuentran las viviendas y su alto riesgo en el talud donde se hallan construidas. (TRAMITES, s.f.)

El día 20 de marzo se realizó la visita al sector del barrio 10 de mayo por parte de los estudiantes que se encuentra en el semillero UNIMINUTO enfocado en la caracterización del suelo del barrio y la estabilidad del talud donde se encuentran construidas las viviendas ya que es otro factor a analizar, problemas constructivos de las viviendas del sector debido a la alta vulnerabilidad del suelo debido a que se encuentra a orillas del río Magdalena siendo este su gran amenaza por el nivel freático del suelo de la zona y malos procesos constructivos de sus viviendas y el alto índice de desalojo de viviendas del sector, mano de obra no calificada, agrietamientos en las viviendas y muros de contención, son los problemas observados que nos motivó a realizar el presente estudio de investigación apoyados por medio de laboratorio.

Objetivos

Objetivo general

Analizar las fallas geotécnicas presentadas en el terreno del barrio 10 de mayo mediante la ejecución de exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio, estabilidad de los taludes y capacidad portante, con el fin de buscar una solución que mitigue las evidencias presentadas en las viviendas del sector

Objetivo específicos

- Determinar, mediante un ejercicio de reconocimiento, las características del terreno del barrio 10 de mayo de la ciudad de Girardot.
- Identificar la composición estratigráfica del suelo del Barrio 10 de Mayo del Municipio de Girardot – Cundinamarca, según su variación en profundidad y extensión.
- Aplicar el programa de slide como insumo para analizar la estabilidad de taludes y capacidad portante
- Plantear posibles soluciones estructurales a la problemática del sector.
- Determinar la magnitud de las amenazas de riesgos geotécnicos.

Marco referencial

Antecedentes

De acuerdo con la información encontrada en el INGEOMINAS, el último el último estudio geológico del municipio de Girardot fue llevado a cabo en el año 1999.

CIUADAELA COMGIRARDOT fue un macro proyecto que presentó problemas de construcción donde los habitantes se vieron afectados a causa de la inversión que realizaron a la caja de compensación que tenía como propósito construir 525 casas (VIS), donde fueron entregadas 63 casas en el año 1999. Estas viviendas con el transcurso de los meses, presentaron fallas y problemas de asentamientos. Los propietarios de las viviendas demandaron a la caja de compensación y tras ganar la demanda, a cada usuario se le asignó 30`000.000 de pesos, mientras algunos propietarios invirtieron para mejorar la estructura de las viviendas y realizar el estudio del suelo adecuado, otros se fueron y abandonaron sus viviendas. Pero aun así algunas casas siguieron con presencia de grietas y fisuras. Según la información encontrada se determinaron dos aspectos:

- Tras el segundo estudio del suelo realizado en el año 2000, se encontró en el terreno arcillas expansivas, este hecho hace que el terreno presente altos cambios de volumen, se expanda al contener humedad y se contraiga al secarse.
- No cumplía con el proceso constructivo adecuado y el uso de los materiales era muy deficiente para ese tipo de terreno tan complejo. (libre W. 1., 2019)

Marco conceptual

El Ensayo De Penetración Estándar O Spt (del inglés Standard Penetration Test), es un tipo de prueba de penetración dinámica, empleada para ensayar terrenos en los que se quiere realizar un reconocimiento geotécnico.

Constituye el ensayo o prueba más utilizada en la realización de sondeos, y se realiza en el fondo de la perforación.

Consiste en contar el número de golpes necesarios para que se introduzca a una determinada profundidad una cuchara (cilíndrica y hueca) muy robusta (diámetro exterior de 51 milímetros e interior de 35 milímetros, lo que supone una relación de áreas superior a 100... ¿?), que permite tomar una muestra, naturalmente alterada, en su interior. El peso de la masa está normalizado, así como la altura de caída libre, siendo de 63'5 kilogramos y 76 centímetros respectivamente. (Sfriso, 2016)

Vivienda unifamiliar: El espacio con techo y cerrado donde las personas habitan recibe el nombre de vivienda, un concepto que sirve como sinónimo de hogar, residencia, domicilio y casa. Unifamiliar, por su parte, es un adjetivo que alude a aquello vinculado a una única familia. (Biblus, 2018)

Capacidad portante: En cimentaciones se denomina capacidad portante a la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo. (ALVARO J. GONZALEZ G., s.f.)

Asentamiento diferencial: Los asentamientos diferenciales son los movimientos o desplazamientos relativos de las diferentes partes de una estructura a causa de un asentamiento

irregular de la misma, provocados por un desequilibrio de esfuerzos en el suelo. (abelkrusnik02, 2018)

Levantamiento topográfico: El levantamiento topográfico es un estudio técnico y descriptivo de un terreno, examinando la superficie terrestre en la cual se tienen en cuenta las características físicas, geográficas y geológicas del terreno, pero también sus variaciones y alteraciones, se denomina a este acopio de datos o plano que refleja al detalle y sirve como instrumento de planificación para edificaciones y construcciones. (CONSTRUYORED, ¿Qué es un levantamiento topográfico?, 2017)

Estabilidad de taludes: Un talud es toda superficie inclinada respecto a la horizontal que haya de adoptar una estructura de tierra, bien sea en forma natural o como resultado de una obra de ingeniería. Los taludes pueden ser naturales cuando se producen sin la intervención de la mano del hombre (laderas) y artificiales cuando son hechos por éste (cortes y terraplenes). (catanzariti, 2016)

Nivel freático: El nivel freático puede definirse como el nivel superior del agua en un acuífero o más correctamente como el lugar donde la presión del agua es igual a la de la presión atmosférica.

El nivel freático o también llamada capa freática o llamada capa freática puede medirse mediante una perforación en el subsuelo. La distancia medida entre el agua subterránea y la superficie se corresponde con el nivel freático. (freáticos, 2018)

La Geotecnia: es la rama de la Ingeniería que se ocupa del estudio de la interacción entre las construcciones y el terreno. Se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la Tierra (suelo y rocas por debajo de la superficie), con el objetivo de diseñar las cimentaciones para estructuras tales como edificios, puentes, centrales hidroeléctricas, estabilizar taludes, construir túneles y carreteras, etc. Por

tanto, es una disciplina de la Ingeniería Civil en conjunto con la Ingeniería Geológica guardando una relación directa con el terreno. (Mexicano, 2017)

Mecánica de rocas: Mecánica de rocas es la ciencia teórica y aplicada al comportamiento mecánico de rocas y de macizos rocosos. Tal como en geología, es la rama de la mecánica concerniente a la respuesta de estos entes litológicos a los campos de fuerzas de su ambiente físico. La mecánica de rocas forma parte de la geo mecánica, disciplina relativa a las respuestas mecánicas de todos los materiales geológicos, incluidos los suelos. Aplicada a ingeniería geológica, ingeniería de minas, del petróleo y civil. (Monge, 09)

Presión intersticial: Supresión. La presión de los fluidos que llenan los poros de la fábrica y de los terrenos actúa disminuyendo las presiones efectivas entre las partículas sólidas de los mismos y alterando, por lo tanto, la estabilidad y resistencia de aquellos. (Ignacio, s.f.)

El Método del Equilibrio Límite: Consiste en el estudio de un cuerpo rígido, constituido por el talud y por una superficie de deslizamiento de cualquier forma (línea recta, arco circular, espiral logarítmica), Con tal equilibrio se calculan las tensiones de corte (τ) y se comparan con la resistencia disponible (τ_f), calculada según el criterio de rotura de Coulomb: de esta comparación deriva la primera indicación de estabilidad, con el coeficiente de seguridad $F = \tau_f / \tau$. (SANHUEZA PLAZA & L., 2013)

Resistencia al suelo no drenado: Importante es que bajo carga sin drenaje, los suelos finos saturados, tendrán una resistencia limitada por sus tensiones efectivas insitu antes del incremento de carga, pero a medida que para el tiempo, asumiendo que el suelo no ha fallado durante la carga, su resistencia aumenta, al transferirse la carga desde el agua, a la estructura porosa del terreno. (frankie, 2013)

La Hidrología: Es una rama de las ciencias de la Tierra que estudia el agua, su ocurrencia, distribución, circulación, y propiedades físicas, químicas y mecánicas en los océanos, atmósfera y superficie terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del

suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares. Por otra parte, el estudio de las aguas subterráneas corresponde a la hidrogeología. (Ing. Remigio Hernández Cevallos, 2016)

La Geofísica: Se encarga de analizar los distintos comportamientos de la tierra entre ellos, la sismología, la oceanografía, la vulcanología, los tsunamis, cambios climáticos, caracterización de suelo, energías renovables, y muchos otros fenómenos o comportamientos de la tierra.

- **Muros de contención**

Los muros de contención se utilizan para detener masas de suelo u otros materiales sueltos manteniendo pendientes que naturalmente no pueden conservar. Estas condiciones se presentan cuando el ancho de una excavación, corte o terraplén está restringido por condiciones de propiedad, utilización de la estructura o economía.

- **Teoremas de la teoría de plasticidad**

Del moderno desarrollo de la Teoría de Plasticidad ha surgido un cuadro consistente del análisis de las teorías de falla en Mecánica de Suelos. El avance principal ha sido la postulación y prueba teórica de dos teoremas básicos por Drucker, Greenberg. y Prager (1 a 5) que pueden enunciar- se así (5):

“Teorema 1: No ocurrirá colapso si se puede hallar cualquier sistema de esfuerzo que satisfaga las ecuaciones de equilibrio y las condiciones de borde de esfuerzo y el cual no exceda en ningún punto la condición de flujo INGENIERIA CIVIL

Teorema 2: El colapso debe ocurrir si para cualquier patrón compatible de flujo; considerado solamente como plástico, la tasa a la que las fuerzas externas hacen trabajo en los cuerpos iguala o excede la tasa de disipación interna “(de energía)”. + Ñ:

El Teorema 1 indica que el límite inferior a la carga de falla es la correspondiente a un campo estáticamente admisible, mientras que el Teorema 2 implica que el límite superior a es la carga de falla es la perteneciente a un campo cinemática- mente admisible.

La forma simplista de estos dos teoremas la expresan Juárez Badillo y Rico (6):” ... la naturaleza es muy sabia y si se encuentra analíticamente una manera de que el suelo pueda soportar una carga dada, la naturaleza se encargará de que el suelo la soporte con menor dificultad. Análoga- mente. sí se encuentra analíticamente un modo de que la carga impuesta al suelo produzca su falla, la misma naturaleza se encargará de que ocurra con un mecanismo más simple”, Gran atención se ha dedicado a las teorías basadas en el Teorema 2. grupo al cual pertenecen las teorías de falla de cimientos de Prandtl-Reissner, Terzaghi., Caquot-Kérisel, Meyerhof, Berezantev, Balla, Vesic, etc. Menos desarrollo han tenido las teorías de carga relativas al primer teorema, tal vez por la dificultad obvia de poder comparar experimentalmente los resultados teóricos. De este segundo grupo se presenta la teoría de Frohlich-Maag.-Maslov para cimientos superficiales continuos. (EcuRed, 2019)

Capacidad portante de cimientos superficiales: El problema de la capacidad portante de cimientos superficiales se ha solucionado con teoría de plasticidad desde hace ya bastante tiempo (por ejemplo, Prandtl,1923 y Reissner, 1924; Terzaghi,1943; Brinch-Hansen,1950; Meyerhof,1953; Vesic,1975), suponiendo siempre el terreno de apoyo del cimiento horizontal. Y de extensión lateral infinita (Figura 1) (Bernal, s.f.)

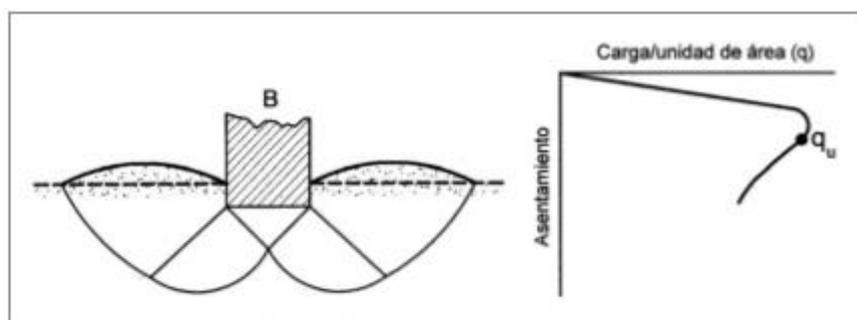


Ilustración 1

Falla para la capacidad de carga en suelo bajo una cimentación rígida corregida

La ecuación de capacidad portante está dada, para Resistencia Mohr-Coulomb, por

$$q_{ult} = c' N_c + q N_q + \frac{1}{2} \Phi B N_g \quad (1)$$

en la cual: q_{ult} = capacidad última

del cimiento (F/L²) c' =

cohesión efectiva (F/L²)

q = sobrecarga externa = γ_1

Φ_1 = peso unitario del suelo externo D_f = altura de suelo externo

γ_3 = peso unitario del suelo bajo el cimiento (F/L³)

B = ancho del cimiento (L)

N_c, N_q, N_g = factores de capacidad portante que son función de Φ'

= ángulo de fricción interna

del suelo portante En relación a los diferentes factores N se puede decir:

La solución de la capacidad última realmente corresponde al Segundo Teorema de la Teoría de Plasticidad que evalúa el Límite Superior de la carga de colapso y como tal corresponde a un campo cinemáticamente posible. (Drucker y Prager, 1952)

A) Con Teoría de Plasticidad se tiene solución para los factores N_q y N_c en un material sin peso, la cual depende del ángulo α de la cuña central ACD con la horizontal horizontal (Fig. 2.1), y cuya fórmula se dió por primera vez por Prandtl (1920) y Reissner (1924), así:

$$\gamma_1 D_f (F/L^2)$$

$$N_c = \tan \alpha + [\cos (\alpha - \phi') / (\sin \phi' \cos \alpha)] [(1 + \sin \phi') \exp [(3\pi/2 + \phi' - 2) \tan \phi'] - 1]$$

$$N_q = [\cos (\alpha - \phi') / \cos \alpha] \tan (\pi/4 + \phi'/2) \exp [(3\pi/2 + \phi' - 2\alpha) \tan \phi']$$

Ecuación 1

Para el límite superior de $\phi = \phi/4 + \phi'/2$, que corresponde a un cimiento liso en el cual qult es el

$$\begin{aligned} N_q &= K_p \exp (\pi \tan \phi') \\ K_p &= \tan^2 (\pi/4 + \phi'/2) = (1 + \sin \phi') / (1 - \sin \phi') \\ N_c &= (N_q - 1) \cot \phi' \end{aligned}$$

Ecuación 2

Esfuerzo Principal Mayor: Las cuales son las expresiones usadas por la mayoría de los autores. Sin embargo, Terzaghi (1948) asume que el cimiento es perfectamente rugoso y adopta el límite inferior de $\phi' = \phi'$, mientras que Meyerhof (1953) concluye que para este cimiento rugoso $\phi' = 1.2 \phi'$. Estas variaciones de ϕ' resultan en valores superiores de N_q y N_c en relación con los de las fórmulas (4) y (6), para los de Terzaghi e inferiores para los de Meyerhof. La Teoría de Plasticidad no incluye el peso propio de la masa de suelo que falla y al involucrarlo, con el factor N_g , hay que apelar a valores semiempíricos o francamente experimentales y hay una gran variedad de soluciones, con valores muy dispares entre los extremos. En la Tabla 1 y Figura 2 se presentan algunos valores desarrollados por diferentes autores y aún no hay unanimidad sobre este factor: (Pilozo, 2019)

AUTOR	EXPRESION	RUGOSIDAD	OBSERVACIONES
Terzaghi (1943)	$1/2 \tan^{-1} (K_{pg} \sec^2 \alpha - 1)$	Rugoso	K_{pg} especial
Taylor (1948)	$(N_q - 1) \tan (\alpha/4 + \alpha/2)$	Rugoso	N_q Prandtl
Meyerhof (1953)	$(N_{qm} - 1) \tan (1.4 \alpha)$	Rugoso	N_{qm} Meyerhof
Jiménez-Salas (1954)	$(N_q - 1) \tan (\alpha/4 + \alpha/2)$	Rugoso	N_q Prandtl
Feda (1960)	$0.01 \exp (\alpha/4)$		Empírica
Brinch-Hansen (1961)	$1.8 (N_q - 1) \tan \alpha$	Liso	Aprox. Numérica
Caquot-Kérisel (1966)	$1/2 \cot (\alpha/4 - \alpha/2) \alpha$ [$K_p \csc(\alpha/4 - \alpha/2) - 1$]	Liso	K_p Boussinesq
De Mello (1969)	$2.06 (N_q - 1) \tan \alpha$	Liso	Aprox. Estadística
Vésic (1975)	$2 (N_q + 1) \tan \alpha$	Liso	Aprox. Numérica
González (1987)	$2 (N_q - 1) \tan \alpha$	Liso	Analogía con $q_{crít}$

Tabla 1

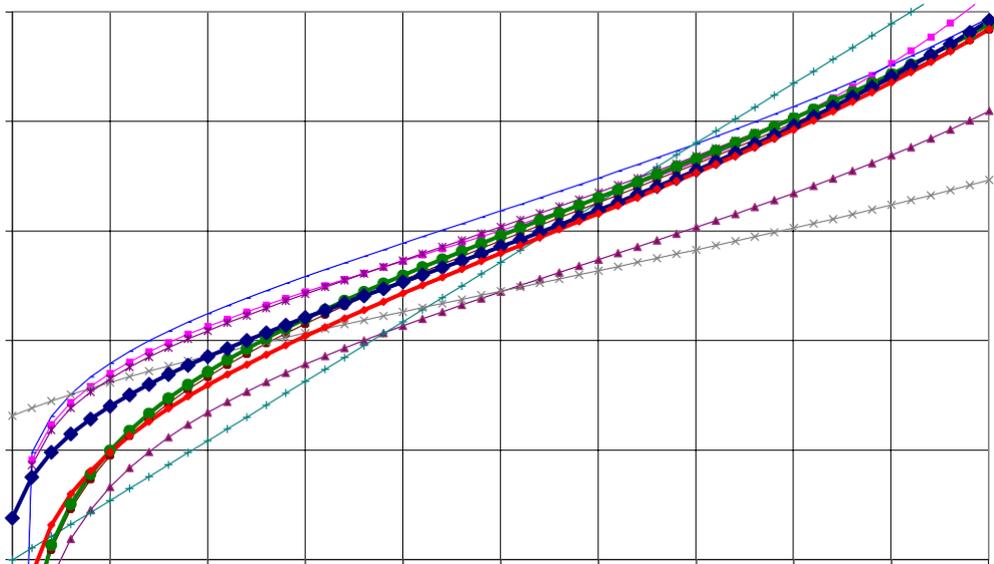


Ilustración 2



—●—	Brinch-Hansen	—●—	Caquot-Kerisel
—●—	—●—	—●—	—●—
			Vesic
			AJGG Promedio
	Aritmético		Promedio Geométrico

- **Solución simplificada para capacidad portante de cimientos superficiales en laderas**

- Modelo de Análisis

El modelo de análisis se basa en la teoría de carga de una cuña bidimensional infinita de ángulo central 2α sin peso (Kezdi, 1975) –Figura 5, en la cual la falla consta de una cuña activa ABC, dos abanicos plásticos ACF y BCD y dos cuñas pasivas AFG y BDE.

(SANABRIA, 2016)

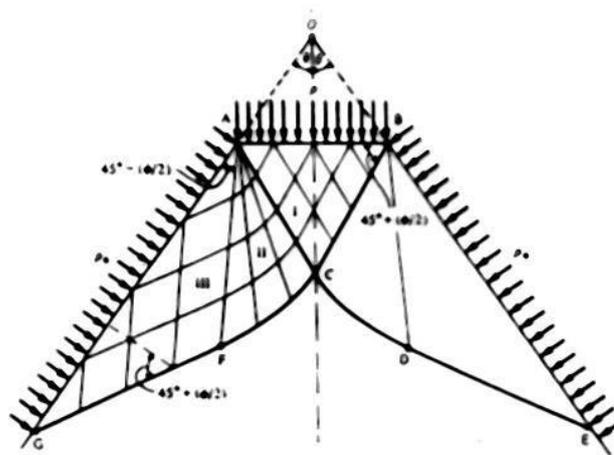


Ilustración 3– Cuña Infinita de Kezdi (1975)

Dependiendo del ángulo α , es posible conseguir toda la gama de fallas por carga vertical en la cuña, desde la compresión simple hasta la falla en pilotes (Figura 6).

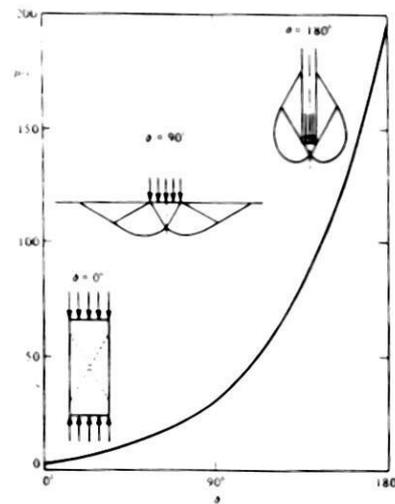


Ilustración 4- Variación de carga en la cuña con ángulo Φ - Kezdi (1960)

Seguindo esta teoría la carga de falla P ($F/L2$) viene dada por:

$$P = P_0 K_p \exp(2\alpha \tan \phi) + c \cot \alpha (K_p \exp(2\alpha \tan \phi) - 1)$$

Ecuación 3

Para el cimientto horizontal ($\alpha = 180^\circ = \pi$) esta expresión vale

$$P = P_0 K_p \exp(\pi \tan \phi) + c \cot \pi (K_p \exp(\pi \tan \phi) - 1)$$

Ecuación 4

Expresión para Capacidad Portante en Ladera

Reemplazando las ecuaciones de N_c (Ecuación 4) y N_q (Ecuación 6) por su valor se tiene $P =$

$$P_0 N_q + c N_c \quad (19)$$

En la cual se observa inmediatamente que $P = \text{qult}$; $P_0 = q$ y para $0 < \alpha < \pi$ se puede

Deducir que:

$$\frac{5}{2} \phi' - \phi' \quad (20) \quad P_o = \gamma \cdot 1 \cdot D_f \cos \phi = qL$$

Ecuación 5

Y entonces reemplazando las ecuaciones (20) y (21) en la ecuación (19) se tiene

$$q_{ult} = qL \cdot K_p \exp [(\phi' \tan \phi') + c \cot \phi'] (K_p \exp [(\phi' \tan \phi') - 1])$$

Ecuación 6

De donde se deducen los valores de los parámetros, ya hallados por Atkinson (1981):

$$N_{qL} = K_p \exp [(\phi' \tan \phi')] \quad (24)$$

Ecuación 7

$$N_{cL} = \cot \phi' (K_p \exp [(\phi' \tan \phi') - 1]) = (N_{qL} - 1) \cot \phi' \quad (25)$$

Y por simple analogía con la ecuación (8), se adopta:

$$N_{gL} = 2 (N_{qL} - 1) \tan \phi' \quad (26)$$

Ecuación 8

Entonces, la expresión para cimiento superficial en ladera queda como:

$$q_{ultL} = c' (N_{qL} - 1) \cot \phi' + qL N_{qL} + \gamma B (N_{qL} - 1) \tan \phi' \quad (27)$$

Ecuación 9

Expresión totalmente análoga a la ecuación (9), la cual se convierte en el caso especial de la ecuación (27) para $\phi = 0$.

Al final del artículo se incluyen cuatro gráficos con valores de N_{qL} , N_{cL} y N_{gL} para valores del ángulo de fricción $0 < \phi' < 50^\circ$ y del ángulo de talud $0 < \phi < 90^\circ$.

Marco Teórico

La geología es la ciencia que estudia la composición y estructura tanto interna como externa de la tierra, su mecanismo de formación, los cambios y alteraciones que esta ha experimentado desde su origen, y la estructura y textura que tiene en su actual estado. Su campo de acción es muy amplio por lo que se ha clasificado en varias ramas o geo ciencias. Aporta conocimientos clave y juega un papel importante en todas las actividades que el ser humano emprende para su subsistencia, progreso y bienestar, la información que aporta la geología en ámbitos tan particulares como la construcción resulta fundamental para áreas del conocimiento como la ingeniería civil o la arquitectura, para nombrar solo algunas.

La geología cumple un papel determinante en la ingeniería civil, ya que gracias a ella podemos realizar estudios geológicos de zonas donde se va a realizar proyectos de infraestructura, logrando la optimización de las mismas. El contexto geológico es de suma importancia para la elaboración de estudios geotécnicos debido a que corresponde al punto de partida para tomar decisiones y emitir conceptos preliminares, que en muchos casos vienen siendo definitivos y concluyentes con respecto a fenómenos particulares del subsuelo y el entorno terrestre en general.

Un estudio geotécnico es el conjunto de actividades que permiten obtener la información geológica y geotécnica del terreno, necesaria para el desarrollo de proyectos de construcción. Por este motivo es que, en este estudio, se realizara una descripción del entorno geológico a nivel local, identificando las formaciones y estructuras geológicas del sector que permitan conocer los factores que de este componente se desprenden y pueden llegar a ser influyentes en el desarrollo del estudio.

La geotecnia abarca los campos de la mecánica del suelo y la mecánica de rocas, y muchos de los aspectos de geología, geofísica, hidrología y otras ciencias relacionadas. La geotecnia es practicada por geólogos de ingeniería e ingenieros geotécnicos.

Los ejemplos de la aplicación de geotecnia incluyen: la predicción, prevención o mitigación del daño causado por peligros naturales tales como avalanchas, flujos de lodo, deslizamientos de tierra, desprendimientos de rocas, sumideros y erupciones volcánicas; la aplicación de la mecánica de suelos, rocas y aguas subterráneas para el diseño y el rendimiento previsto de las estructuras de tierra, como las presas; la predicción de diseño y rendimiento de los cimientos de puentes, edificios y otras estructuras artificiales en términos del suelo y / o roca subyacentes, control y predicción de inundaciones. (Merino, 2009)

1. Estabilidad De Taludes, Deslizamientos De Tierra Y Sus Causas

- **Taludes**

“Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra” (Matteis, 2003)

Los taludes pueden ser naturales o artificiales. Al primer tipo de talud se le denomina también laderas, formados por la naturaleza a través del tiempo sin la injerencia del hombre. Al segundo tipo se le denomina talud debido a que se tiene la intervención del hombre para su construcción. (Montoya, 2013)

- **Deslizamientos**

Los problemas que pueden presentar estas estructuras son, en su gran mayoría, los deslizamientos, meteorización, erosión y hundimiento, siendo el problema de deslizamiento el más grave de todos.

Los taludes artificiales no presentan muchos problemas de deslizamiento, esto es da gracias a la posibilidad de escoger el suelo idóneo para estas estructuras, es decir, se tiene un total control de los materiales junto con sus propiedades para su construcción; en cambio, en los taludes

naturales, los problemas existentes son mayores, dados por las fallas del terreno, los tipos de suelos, la inclinación de su pendiente natural, la capa freática y el clima de la zona. Hablando sobre vidas humanas y pérdidas económicas, los deslizamientos de taludes son los hechos más costosos para un proyecto

Las fallas en los taludes se presentan cuando los esfuerzos que tienen que actuar sobre ellos sobrepasan la resistencia de los materiales que la compone, esto puede ser producido por la gravedad, presión de poros, el movimiento de las placas tectónicas, entre otros.

La resistencia de los taludes puede ser modificada por diversos factores como los vegetales, el clima y los procesos hidrológicos que ocurren en la zona donde se encuentra ubicado el talud. (libre W. I., 2019)

- **Superficies de falla**

Las superficies de falla o de ruptura son características que distinguen a los deslizamientos de otros movimientos de suelo como, por ejemplo, la erosión. Esta superficie se reconoce debido a que divide el talud entre los materiales de suelo que pueden deslizarse y el suelo que no se mueve al ocurrir el deslizamiento.

Para entender cómo ocurre un deslizamiento, se muestra una imagen del deslizamiento rotacional de un talud (extraído del libro Hillslope Hydrology and Stability). (krlosco@gmail.com, 2013)

- **Escarpe Principal**

Superficie empinada en la parte más alta del talud, causado por el deslizamiento. (DIAZ-TORRES, 2007)

- **Escarpe Menor**

Escarpes producidos por movimientos diferenciales dentro de la masa desplazada. (Chinchilla, s.f.)

- **Cuerpo**

Material desplazado del deslizamiento de tierra que recubre la superficie de ruptura entre el escarpe primario y el pie de la superficie de ruptura. (Bernal, s.f.)

- **Pie**

Parte que se encuentra en pendiente ascendente desde la punta de la superficie de ruptura. (Chinchilla, s.f.)

- **Corona**

Material prácticamente no desplazado junto a la parte más alta del escarpe principal.

- **Flancos**

Material adyacente desplazado a los lados de la superficie de ruptura izquierda y derecha.

- **Velocidad de deslizamiento**

Los deslizamientos pueden ser extremadamente lentos, teniendo una velocidad de $10E-7$ mm/s o muy rápidas alcanzando una velocidad de $10E4$ mm/s. Según su actividad en el medio se pueden clasificar en Fósiles, Activos e Inactivos. (APLICADA, 2017)

- **Deslizamientos Activos**

Taludes en constante movimiento o se tienen registros en donde se señala que en las últimas temporadas se han ido moviendo, las superficies de falla son fáciles de reconocer. (ANALISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA, 2002)

- **Deslizamientos Inactivos**

No se tienen registro de movimientos o pruebas que evidencien movimiento de estos taludes en las últimas temporadas, pueden ser reactivados por factores naturales como el clima, o los movimientos telúricos. (¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología, 1999)

- **Deslizamientos fósiles**

Son inmóviles y no pueden reactivarse al menos que la mano del hombre ayude en este proceso.

(Pérez-Gutiérrez, 2008)

Causas de deslizamiento

Según datos estadísticos se sabe que el 40 % de deslizamientos ocurren a causa de fuertes lluvias. El estudio de los deslizamientos ocurridos se hace mediante los métodos tradicionales de análisis de estabilidad tomando como ingreso que el suelo se encuentra saturado.

Actualmente, existen otros métodos como el de tomar un modelo de corte del talud con su estado de esfuerzos actual, sin modificar sus propiedades como tomarlo saturado o con la presión de poros actuando en compresión.; este último modelo se hace debido a que existen estudios que demuestran que existen deslizamientos ocurriendo en las zonas no saturadas del talud.

Existe una fuerte relación entre lo que dura una intensa precipitación de lluvia y la variación de la presión de poros en el suelo. El estudio de suelos no saturados aplicado en la agricultura es de gran ayuda y sus modelos son utilizados para analizar la responsabilidad de la hidrología en la estabilidad de taludes. (CONSTRUYORED, ¿Qué causa un deslizamiento de tierra?, 2017)

- **Estabilidad de taludes**

Por talud se entiende una porción de vertiente natural cuyo perfil original ha sido modificado con intervenciones artificiales relevantes con respecto a la estabilidad. Por derrumbe se entiende una situación de inestabilidad que concierne vertientes naturales y comprende considerables espacios de terreno. (Agreda, 2005)

- **Método del equilibrio límite (lem)**

El método del equilibrio límite consiste en estudiar el equilibrio de un cuerpo rígido, constituido por el talud y por una superficie de deslizamiento de cualquier forma (línea recta,

arco circular, espiral logarítmica). Con tal equilibrio se calculan las tensiones de corte (τ) y se comparan con la resistencia disponible (τ_f), calculada según el criterio de rotura de Coulomb: De tal comparación deriva la primera indicación de estabilidad, con el coeficiente de seguridad: (2015, 2012).

Ecuación 10

$$F = \tau_f / \tau$$

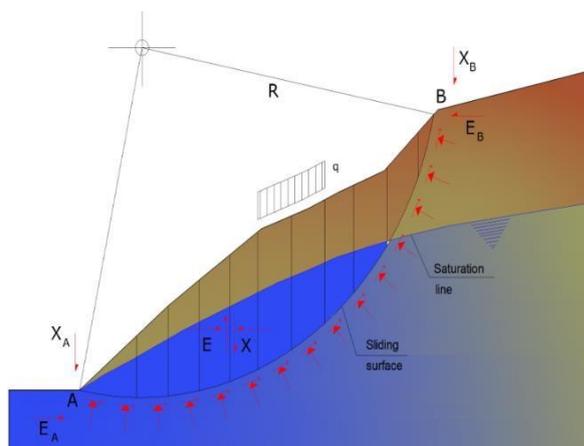


Ilustración 5

- **Capacidad portante**

En cimentaciones se denomina capacidad portante a la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo. Por tanto, la capacidad portante admisible debe estar basada en uno de los siguientes criterios funcionales:

- Si la función del terreno de cimentación es soportar una determinada tensión independientemente de la deformación, la capacidad portante se denominará carga de hundimiento.
- Si lo que se busca es un equilibrio entre la tensión aplicada al terreno y la deformación sufrida por éste, deberá calcularse la capacidad portante a partir de criterios de asiento admisible.
- De manera análoga, la expresión capacidad portante se utiliza en las demás ramas de la ingeniería para referir a la capacidad de una estructura para soportar las cargas aplicadas sobre la misma. (libre W. I., 2019)

- **Capacidad de carga a corto y a largo plazo**

Las propiedades mecánicas de un terreno suelen diferir frente a cargas que varían (casi) instantáneamente y cargas cuasi permanentes. Esto se debe a que los terrenos son porosos, y estos poros pueden estar total o parcialmente saturados de agua. En general los terrenos se comportan de manera más rígida frente a cargas de variación casi instantáneamente ya que éstas aumentan la presión intersticial, sin producir el desalojo de una cantidad apreciable de agua. En cambio, bajo cargas permanentes la diferencia de presión intersticial entre diferentes partes del terreno produce el drenaje de algunas zonas.

En el cálculo o comprobación de la capacidad portante de un terreno sobre el que existe una construcción debe atenderse al corto plazo (caso sin drenaje) y al largo plazo (con drenaje). En el comportamiento a corto plazo se desprecian todos los términos excepto la cohesión última, mientras que en la capacidad portante a largo plazo (caso con drenaje) es importante también el rozamiento interno del terreno y su peso específico. (Kairope, 2014)

- **El levantamiento topográfico**

se usa para trazar un plano que ayude a organizar el trabajo y por otra para colocar sobre el terreno marcas que guíen su ejecución. Un levantamiento topográfico permite trazar mapas o planos de un área, en los cuales aparecen: las principales características físicas del terreno, tales como ríos, lagos, reservorios, caminos, bosques o formaciones rocosas; o también los diferentes elementos que componen estanques, represas, diques, fosas de drenaje o canales de alimentación de agua;

Las diferencias de altura de los distintos relieves, tales como valles, llanuras, colinas o pendientes; o la diferencia de altura entre los elementos de la granja. Estas diferencias constituyen el perfil vertical. (CODAZZI, 2019)

- **Operaciones comprende un levantamiento topográfico**

El objetivo del primer tipo de levantamiento topográfico es determinar la posición relativa de uno o más puntos sobre un plano horizontal. A tal efecto, se miden las distancias horizontales y los ángulos horizontales o direcciones. Se usa el método llamado de planimetría, que se explica en este. El objetivo del segundo tipo de levantamiento topográfico es determinar la altura (vertical) de uno o más puntos en relación a un plano horizontal definido. A tal efecto, se miden las distancias horizontales y las diferencias de altura; y también se trazan curvas de nivel. Se usa un método llamado de nivelación directa, que se ilustra en el Capítulo Preparación de un levantamiento topográfico. Cuando se prepara un levantamiento topográfico, la regla fundamental es proceder de lo general a lo particular. Se debe tener presente el trabajo en su conjunto cuando se dan los primeros pasos. Los diferentes tipos de levantamientos topográficos requieren precisiones diversas, pero es importante determinar con la mayor precisión posible los primeros puntos de cada levantamiento. Los trabajos sucesivos se ajustan en relación a dichos primeros puntos. (eumed.net, 2015)

- **Condiciones drenadas o no drenadas**

Las fallas de los taludes pueden ocurrir en condiciones drenadas o no drenadas. Si la inestabilidad es causada por cambios en la carga, tal como la remoción de materiales de la parte baja del talud o aumento de las cargas en la parte superior, en suelos de baja permeabilidad, estos pueden no tener tiempo suficiente para drenar durante el tiempo en el cual ocurre el cambio de carga. En ese caso se dice que las condiciones son no drenadas.

Generalmente, los suelos tienen permeabilidades suficientes para disipar las presiones de poro en exceso y se comportan en condiciones drenadas.

Para ratas normales de carga, que equivalen a meses o semanas, suelos con permeabilidades mayores de 10^{-4} cm/seg., se pueden considerar drenadas y suelos con permeabilidades menores de 10^{-7} cm/seg., se consideran no drenadas. Mientras las permeabilidades intermedias se consideran parcialmente drenadas.

Duncan (1996) recomienda que para los taludes en los cuales la causa de la falla es el aumento de la presión de poros debida a las lluvias, el problema debe analizarse como condición drenada. Para determinar las condiciones de drenaje Duncan (1996) sugiere utilizar la siguiente expresión

Donde:

- T = Factor adimensional
- C_v = Coeficiente de consolidación
- t = Tiempo de drenaje
- D = Longitud del camino de drenaje o distancia de salida del agua al cambio de presiones.

Si T es mayor de 3 la condición es drenada.

Si T es menor de 0.01 la condición es no drenada.

Si T está entre 0.01 y 3.0 ocurre drenaje parcial durante el tiempo de cambio de cargas. En este caso deben analizarse ambas condiciones. El caso drenado y el caso no drenado. (marcos_ayala_12, 2017)

- **Análisis con esfuerzos totales o efectivos**

Los problemas de estabilidad de taludes pueden analizarse suponiendo sistemas de esfuerzos totales o efectivos. En principio, siempre es posible analizar la estabilidad de un talud utilizando el método de presión efectiva, porque la resistencia del suelo es gobernada por las presiones efectivas tanto en la condición drenada, como en la condición no drenada. Pero en la práctica sin embargo es virtualmente imposible determinar con precisión cuales son los excesos de presión de poro que se van a generar por los cambios en las cargas (excavaciones, colocación de rellenos o cambios en el nivel de agua). Debido a esta razón no es posible desarrollar análisis precisos de estabilidad en estas condiciones, utilizando procedimientos de esfuerzos efectivos. Sin embargo, se puede trabajar todo el análisis utilizando presiones efectivas, sin que se requiera especificar los valores de los excesos de poro en las condiciones no drenadas. (Swd, 2015)

- **Resistencias al cortante**

La resistencia al cortante para utilizar en los análisis puede ser medida de dos formas:

1. En el laboratorio o en ensayos de campo, en tal forma que las cargas aplicadas, sean lo suficientemente lentas para que se produzca drenaje.
2. En el laboratorio utilizando ensayos consolidados no drenados.

Los envolventes de falla determinadas usando estos dos métodos se han encontrado que son las mismas para todos los fines prácticos (Bishop y Bjerrum, 1960).

Estudios realizados por Skempton revelan que las resistencias drenadas pico de arcillas sobreconsolidadas duras, son mayores en el laboratorio que las resistencias drenadas que pueden ser movilizadas en el campo en un periodo de tiempo.

Skempton recomienda realizar los ensayos remoldeando la arcilla en el laboratorio a un contenido de agua cercano al límite líquido, reconsolidándolo en el laboratorio y midiendo la resistencia en una condición normalmente consolidada. En los casos en los cuales ya ha ocurrido la falla del talud, se recomienda utilizar las resistencias residuales (Skempton, 1970,1977,1985). (ESFUERZO CORTANTE EN SUELOS, 2012)

Para suelos parcialmente saturados tales como arcillas compactadas o suelos arcillosos por encima del nivel freático, las resistencias no drenadas deben obtenerse utilizando ensayos no consolidados no drenados en muestras con el mismo grado de saturación que el suelo en el campo. La envolvente de falla para esos suelos generalmente, es curva y por lo tanto es importante utilizar el mismo rango de presiones de confinamiento en los ensayos de laboratorio que en el campo.

Para suelos que son completamente saturados, el ángulo de fricción para condiciones no drenadas es igual a cero. La resistencia no drenada para suelos saturados puede ser determinada de ensayos no consolidados no drenados.

- **Pesos unitarios y presiones de poro**

Los problemas de estabilidad de taludes pueden formularse correctamente en términos de esfuerzos totales, utilizando pesos unitarios totales y límites externos de presión de poros.

Los pesos unitarios totales son pesos húmedos por encima del nivel freático y saturados por debajo del nivel freático. En el caso de que se utilicen pesos sumergidos, se debe ignorar la presencia de nivel freático.

Las condiciones de presión de poros son generalmente, obtenidas de las características de las aguas subterráneas y pueden especificarse para los análisis utilizando los siguientes métodos:

1. Superficie freática

Esta superficie o línea en dos direcciones se define como el nivel libre del agua subterránea.

En una superficie freática la presión de poros es calculada de acuerdo a las condiciones de

estado de régimen permanente (Steady-state), de acuerdo al diagrama que se muestra. Este concepto se basa en la suposición de que todas las líneas equipotenciales sean ortogonales. Entonces, si la inclinación del segmento de superficie freática es α y la distancia vertical entre el punto y la superficie freática es hw , entonces la presión de poros está dada por la expresión $u = \gamma_w (hw \cos^2 \alpha)$.

En el caso de líneas freáticas de gran pendiente, el cálculo anterior puede resultar sobreestimado y se requiere tener en cuenta que las líneas equipotenciales tienden a ser curvas.

2. Datos piezométricos

Es la especificación de presiones de poros en puntos discretos dentro del talud y la utilización de un esquema de interpolación para estimar las presiones de poro requeridas a cualquier punto. Las presiones piezométricas pueden determinarse mediante piezómetros, redes de flujo o soluciones numéricas, utilizando diferencias finitas o elementos finitos. Aunque este sistema está disponible solamente en muy pocos de los programas de computador existentes, se recomienda por su confiabilidad para representar las condiciones reales en el campo (Chugh, 1981). (APLICADA, 2017)

3. Relación de presión de poros

Este es un método muy simple y popular para normalizar el valor de la presión de poros en un talud de acuerdo a la definición:

$$r_u = \frac{u}{\gamma_v}$$

Ecuación 12

Donde:

u = Presión de poros

γ_v = Esfuerzo total vertical del suelo a una profundidad z .

Este factor se implementa fácilmente, pero la mayor dificultad está asociada con la asignación de este parámetro a diferentes partes del talud. En ocasiones, el talud requiere de una extensiva subdivisión en regiones con diferentes valores de ru .

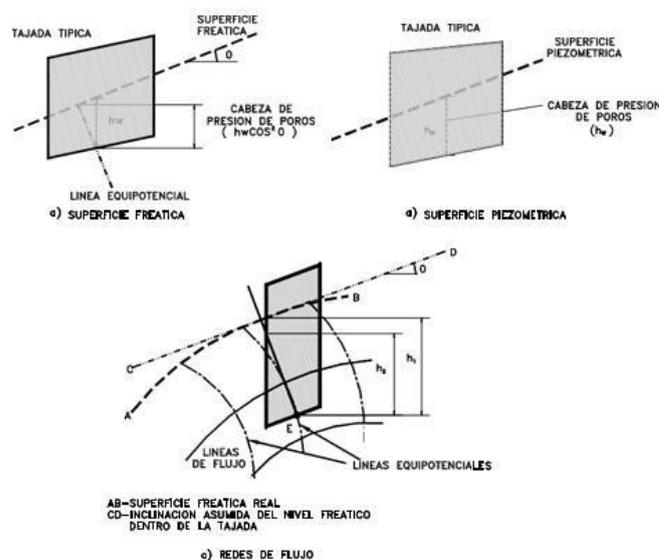
4. Superficie piezométrica

Esta superficie se define para el análisis de una determinada superficie de falla. Debe tenerse claridad en que la superficie piezométrica no es la superficie freática y que el método de calcular la presión de poros es diferente para los dos casos. En la superficie piezométrica, la presión de poros es la distancia vertical entre la superficie piezométrica indicada y el punto (figura 4.1). (ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA, 2002)

5. Presión de poros constante

Este procedimiento puede utilizarse si el Ingeniero desea especificar una presión de poros constante en una determinada capa de suelo. Este sistema puede utilizarse para analizar la estabilidad de rellenos colocados sobre suelos blandos, durante la construcción donde se generan presiones de poro, de acuerdo a la teoría de la Consolidación.

Ilustración 6



- **Efecto de los ductos de agua en la corona de los taludes sobre el análisis de estabilidad**

Siempre que sea posible es imperativo el localizar los ductos de agua lejos de la corona de taludes o laderas donde se requiera su estabilidad. Como una regla general la distancia entre la corona de los taludes y la localización de todo tipo de tuberías y servicios debe ser igual a la altura total del talud. Aunque este es el estandar mínimo recomendado (Abramson, 1996), en ocasiones se requieren aislamientos mayores.

En el caso en el cual no es posible mantener estos aislamientos, el talud debe diseñarse para tener en cuenta su saturación debida a la muy posible infiltración de agua, teniendo en cuenta que en la mayoría de los casos se producen fugas de los ductos.

- Grietas de tensión en los análisis de estabilidad

La existencia de grietas de tensión aumenta la tendencia de un suelo a fallar, la longitud de la superficie de falla a lo largo de la cual se genera resistencia es reducida y adicionalmente la grieta puede llenarse con agua, en el caso de lluvias.

La profundidad de las grietas de tensión puede determinarse de acuerdo a la siguiente expresión:

$$z_c = \frac{2c}{\gamma} \tan^2 \left(45 + \frac{1}{2}\phi \right)$$

Ecuación 13

Donde:

- z_c = Profundidad de la grieta de tensión
- c = cohesión
- γ = Peso unitario del suelo
- ϕ = Angulo de fricción
-

- **Generalmente se recomienda la utilización de parámetros efectivos.**

La presencia de grietas de tensión dificulta en forma considerable la confiabilidad de los análisis cuando no se tiene en cuenta este factor. Las grietas de tensión son muy importantes y profundas en cortes de taludes, donde existe un alivio de presiones de confinamiento al ejecutarse la excavación.

Software muy fácil de utilizar. Generalmente, los métodos son de iteración y cada uno de los métodos posee un cierto grado de precisión.

(julrosgar, 2012)

Método	Superficies de falla	Equilibrio	Características
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	De fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobredeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de superficie de	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobredeterminada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de

	falla.		momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección F_0 para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma de la superficie de falla.	De fuerzas	Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma de la superficie de falla.	De fuerzas	Asume que las fuerzas entre partículas están inclinados a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.
Spencer (1967)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que

			varía de acuerdo a una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma de la superficie de falla.	Momentos y fuerzas	Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad. El factor de seguridad estático corresponde al caso de cero coeficiente sísmico. Satisface todas las condiciones de equilibrio; sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales.
Elementos finitos	Cualquier forma de la superficie de falla.	Analiza esfuerzos y deformaciones.	Satisface todas las condiciones de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.
Espiral logarítmica	Espiral logarítmica	Momentos y fuerzas.	Existen diferentes métodos con diversas condiciones de equilibrio.

Tabla 2

El Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al

corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F.S. = \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Esfuerzo al cortante}}$$

Ecuación 14

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$F.S. = \frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento actuante}}$$

Ecuación 15

Existen, además, otros sistemas de plantear el factor de seguridad, tales como la relación de altura crítica y altura real del talud y método probabilístico.

La mayoría de los sistemas de análisis asumen un criterio de “equilibrio límite” donde el criterio de falla de Coulomb es satisfecho a lo largo de una determinada superficie (Tabla 4.1).

Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para producir el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se compara con la disponible del suelo o roca y se obtiene una indicación del Factor de Seguridad. Otro criterio es el de dividir la masa a estudiar en una serie de tajadas, dovelas o bloques y considerar el equilibrio de cada tajada por separado. Una vez realizado el análisis de cada tajada se analizan las condiciones de equilibrio de la sumatoria de fuerzas o de momentos.

$$F.S. = \frac{\sum \text{Resistencias al corte}}{\sum \text{Esfuerzos al cortante}}$$

Ecuación 16

- **Métodos de análisis**

A continuación, se presentan algunos métodos de análisis universalmente conocidos para el cálculo del Factor de Seguridad. (ASTROS, 2003)

- **Método de tablas o número de estabilidad**

Para taludes simples homogéneos se han desarrollado tablas que permiten un cálculo rápido del Factor de Seguridad. Existe una gran cantidad de tablas desarrolladas por diferentes Autores. La primera de ellas fue desarrollada por Taylor en 1937 y 1948, las cuales son aplicables solamente para análisis de esfuerzos totales, debido a que no considera presiones de poro. Desde entonces varias tablas han sido sucesivamente presentadas por Bishop y Morgenstern (1960), Hunter y Schuster (1968), Janbú (1968), Morgenstern (1963), Spencer (1967), Terzaghi y Peck (1967) y otros, las cuales se resumen en la tabla 4.2. (Garcia, 2015)

Autor	Parámetros	Inclinación de talud	Método analítico utilizado	Observaciones
Taylor (1948)	c, ϕ	0-90°	$\phi = 0$ Círculo de fricción	Análisis no drenado. Taludes secos solamente.
Bishop y Morgenstern (1960)	c, ϕ, r_u	11-26.5°	Bishop	Primer en incluir del agua efectos
Gibson y Morgenstern (1960)	c, ϕ	0-90°	$\phi = 0$	Análisis no drenado con cero

				resistencia en la superficie y c_u aumentan linealmente con la profundidad.
Spencer (1967)	c, ϕ, r_u	$0-34^\circ$	Spencer	Círculos de pie solamente.
Janbú (1968)	c_u c, ϕ, r_u	$0-90^\circ$	$\phi = 0$ Janbú GPS	Una serie de tablas para diferentes efectos de movimiento de agua y grietas de tensión.
Hunter y Schuster (1968)	c_u	$0-90^\circ$	$\phi = 0$	Análisis no drenado con una resistencia inicial en la superficie y c_u aumenta linealmente con la profundidad.
Chen y Giger (1971)	c, ϕ	$20-90^\circ$	Análisis límite	
O'Connor y Mitchell (1977)	c, ϕ, r_u	$11-26^\circ$	Bishop	Bishop y Morgenstern (1960) extendido para incluir $N_c = 0.1$
Hoek y Bray (1977)	c, ϕ c, ϕ	$0-90^\circ$ $0-90^\circ$	Círculo de	Incluye agua subterránea y grietas de tensión.

			fricción n Cuña	Análisis de bloque en tres dimensiones.
Cousins (1978)	c, ϕ	0-45 °	Círculo de fricción	Extensión del método de Taylor (1948).
Charles y Soares (1984)	ϕ	26-63 °	Bishop	Envolvente de falla no lineal de Mohr-Coulomb.
Barnes (1991)	c, ϕ , ru	11-63 °	Bishop	Extensión de Bishop y Morgenstern (1960) para un rango mayor de ángulos del talud.

Tabla 3

A continuación, se presenta un resumen de las tablas desarrolladas por Janbú (1968). Esta serie de tablas tiene en cuenta diferentes condiciones geotécnicas y factores de sobrecarga en la corona del talud, incluye sumergencia y grietas de tensión.

Para suelos $\neq 0$

Las tablas indicadas en la Figura 4.2 pueden ser utilizadas para el análisis de estabilidad de taludes de suelos arcillosos sin fricción, de acuerdo a procedimiento desarrollado por Janbú (1968).

El Factor de Seguridad se obtiene por la siguiente expresión:

$$F.S. = N_o \frac{c}{\gamma H}$$

Ecuación 17

Donde

N_o = Número de estabilidad que se obtiene de la tabla

c = Cohesión

γ = Peso unitario del suelo

H = Altura del talud

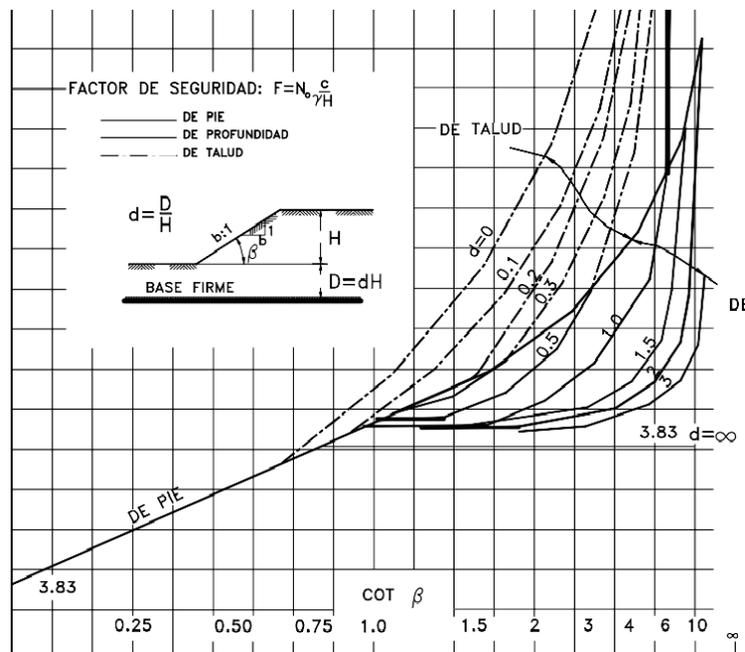


Ilustración 7

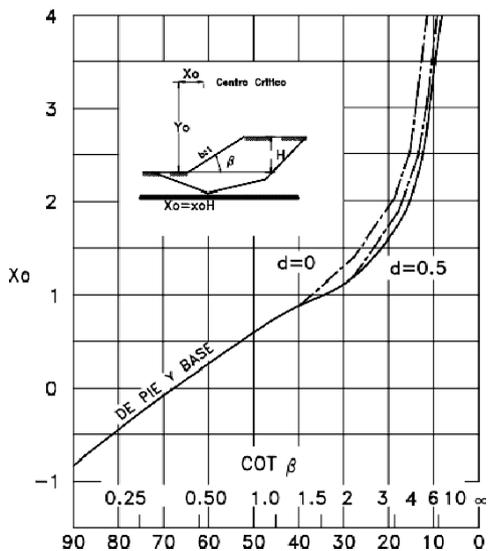


Ilustración 8

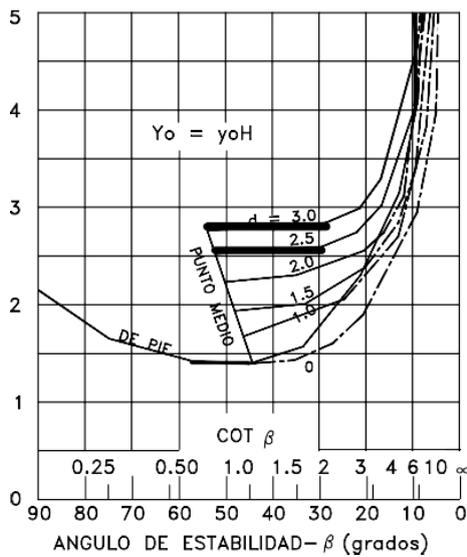


Ilustración 9

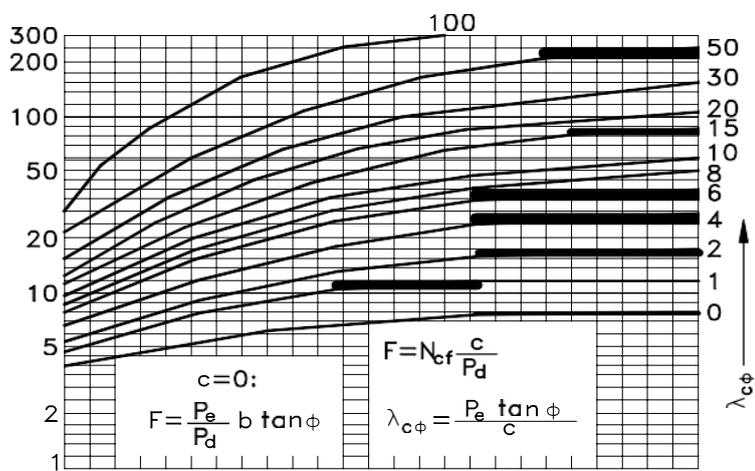


Ilustración 11

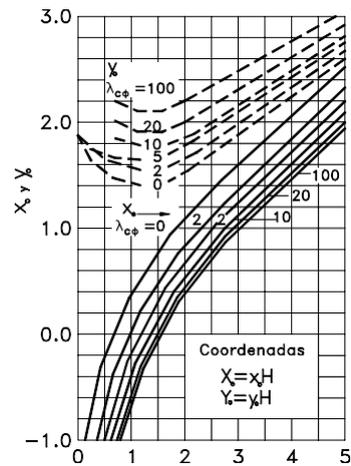
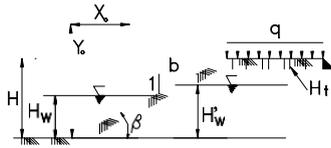


Ilustración 10



$$P_d = \frac{\gamma H + q - \gamma_w H_w}{\mu_q \mu_w \mu_q}$$

$$P_e = \frac{\gamma H + q - \gamma_w H_w'}{\gamma_q \gamma_w'}$$

Ecuación 18

Para suelos $\phi > 0$

En la mayoría de los casos para suelos $\phi > 0$ el círculo crítico pasa por el pie del talud y la tabla de estabilidad que se muestra en la figura 4.3, se basa en esta suposición. El factor de seguridad F es calculado por la expresión:

$$F = N \cdot \frac{c}{P_{dl}}$$

Ecuación 19

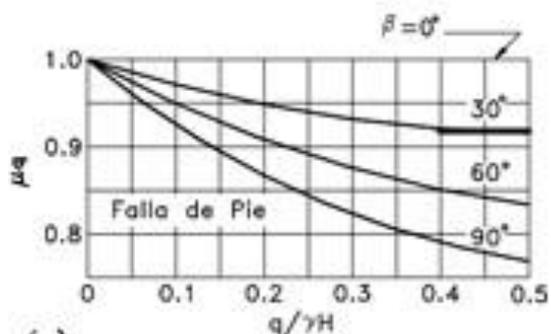
Donde:

N y P_d son los obtenidos en la gráfica y

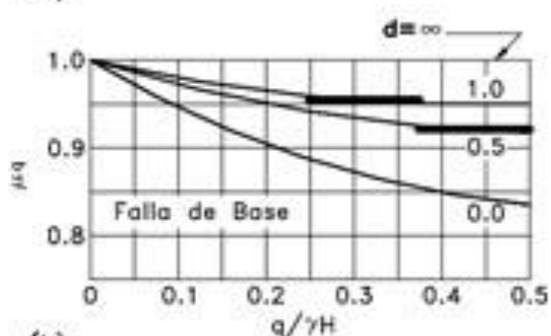
C es la cohesión promedio

Al utilizar las tablas de Janbú se pueden emplear los factores de corrección por grietas de tensión, sobrecarga, sumergencia y flujo que se presentan en las figuras 4.4 y 4.5.

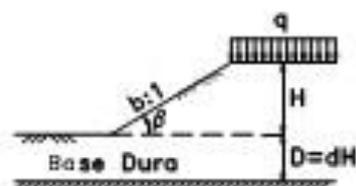
Corrección por Sobrecarga



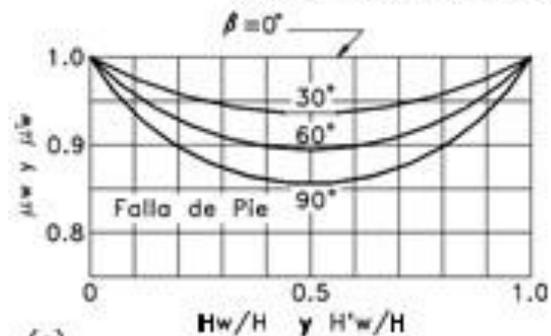
(a)



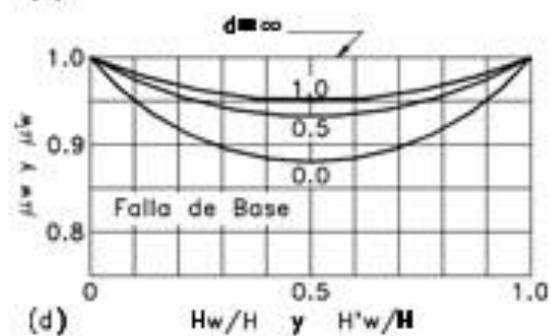
(b)



Corrección por Sumergencia (μ_w) y Flujo (μ^*w)



(c)



(d)

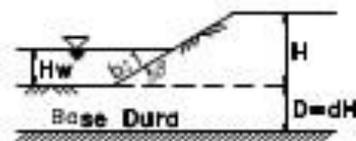
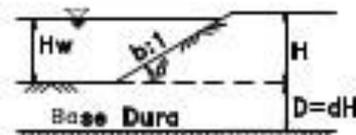


Ilustración 12

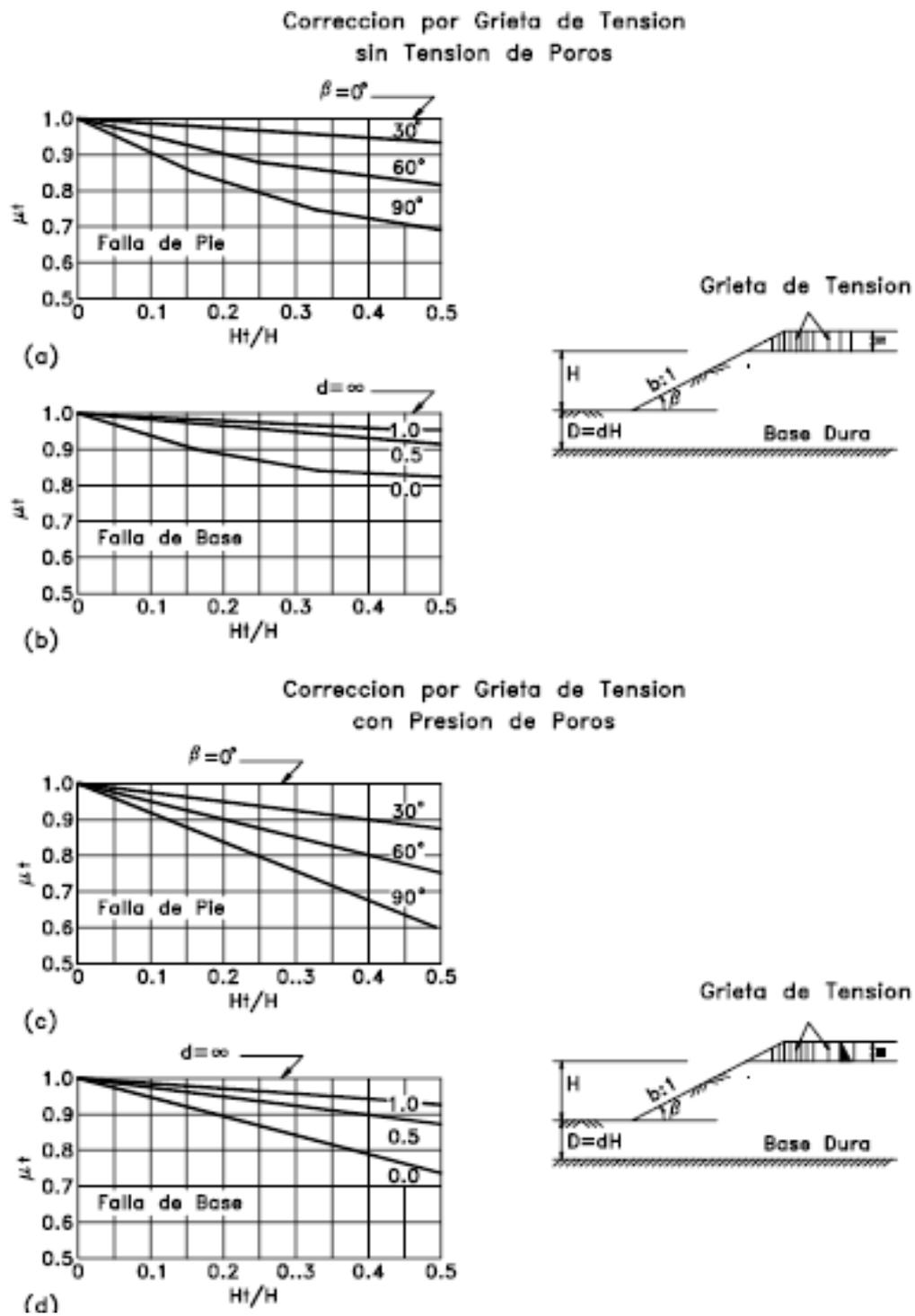


Ilustración 13

- **Equilibrio Limite Y Factor De Seguridad**

El análisis de los movimientos de los taludes o laderas durante muchos años se ha realizado utilizando las técnicas del equilibrio límite. Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no se requiere sobre la relación esfuerzo-deformación.

El sistema de equilibrio límite supone que, en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0.

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Cada día se han mejorado los sistemas de Dovelas desarrollados a inicios del siglo XX y existe. (Estaire José y Olivenza, 2013)

- **Reptación**

Es un movimiento muy lento que se da en capas superiores de laderas arcillosas, de en torno a 50 centímetros de espesor o menos. Está relacionado con procesos de variación de humedad estacionales en el suelo, ya que el agua favorece este fenómeno actuando como lubricante además del aumento del peso consiguiente. A menudo la reptación no es el único proceso que ocasiona la inestabilidad de las pendientes, como puede verse en la imagen de la Serranía del Interior, en la que pueden verse algunas cicatrices pequeñas del suelo producidas por la acción de las lluvias. También son importantes las variaciones diarias en la temperatura del propio suelo y otros factores, como la acción de animales, silvestres o domésticos tal como se puede ver en la imagen.

Se manifiestan en forma de pequeñas ondulaciones, una especie de pequeñas terracillas, y suelen ser signo de una posible futura inestabilidad generalizada. La velocidad de bajada es mayor en la superficie lo que origina la formación de ondulaciones perpendiculares a la línea de la pendiente, proceso similar a la formación de olas de traslación en la costa (también aquí

la velocidad es mayor en la cresta). Está relacionado con procesos de variación de humedad estacionales ya que el agua favorece este fenómeno al formar con la arcilla un barro más o menos fluido. Un factor que contribuye a la reptación es la expansión y contracción alternantes del material de superficie causadas por la congelación y deshielo o por humectación y sequedad posterior. La congelación o la humectación elevan las partículas según un ángulo recto con respecto a la pendiente, y el deshielo o la sequía permiten que las partículas vuelvan a caer a un nivel ligeramente inferior. Cualquier cosa que altere el suelo, como el impacto de las gotas de lluvia y las perturbaciones provocadas por las raíces de las plantas y los animales de madriguera, ayudan a la reptación. (Oscar, 2015)

- **Meteorización Y Erosión**

La reptación es un fenómeno típico de meteorización ya que los materiales involucrados suelen alterarse in situ o con un ligero desplazamiento por gravedad. Sin embargo, también puede desencadenar procesos erosivos en pendiente, como puede verse en un pequeño corrimiento de tierra que aparece en la imagen tomada en el estado Guárico (Venezuela) y que, en algunos casos, puede llegar a ser muy violento y hasta catastrófico, formando grandes deslaves o procesos aluvionales.

Tres son los mecanismos que desencadenan la reptación: la temperatura, el agua y los seres vivos. Las variaciones de temperatura y humedad son suficientes para desencadenar movimientos de reptación, mediante el mecanismo de hinchamiento y retractación a escala milimétrica. En las áreas de clima frío, cuando la masa de detritos está empapada de agua el ciclo de hielo-deshielo pone en marcha este proceso de manera particularmente eficaz. Si este ciclo tiene lugar en las capas superficiales de deslizamiento se llama crioturbación. Pero hay otro mecanismo que consiste en la formación, en el suelo, de agujas de hielo (pipkrakes) en cuyo extremo se encuentran pequeños fragmentos. Al deshelarse, esos fragmentos caen, desplazándose. También los seres vivos, y particularmente las plantas con el crecimiento de las

raíces y la acción de los animales excavadores, e incluso el paso de grandes animales, pueden provocar pequeños desplazamientos de partículas, a la larga muy importantes. Las huellas del ganado mayor (vacuno, principalmente) dejan en la pendiente de las laderas una serie de pequeños senderos que en francés reciben el nombre de *pieds de vache*, y que contribuyen, por una parte, a compactar el suelo de manera horizontal, es decir, en el sentido de las curvas de nivel o los senderos utilizados por el ganado, y por la otra, a debilitar la pendiente durante las lluvias muy intensas, tanto por el sobrepastoreo como por la pequeña remoción de tierra con sus pisadas, lo que viene a incrementar la reptación. (Blazek, Boletín de Estudios Geográficos, 2016)

- **Características**

Estos fenómenos son desplazamientos de masas de tierra o rocas por una pendiente en forma súbita o lenta. Si bien la gravedad que actúa sobre las laderas es la principal causa de un deslizamiento, su ocurrencia también depende de variables como son las clases de rocas y suelos, la Topografía (lugares montañosos con pendientes fuertes), orientación de las fracturas o grietas en la tierra, cantidad de lluvia en el área, actividad sísmica, actividad humana (cortes en ladera, falta de canalización de aguas, etc.) y la erosión (por actividad humana y de la naturaleza).

- **Origen**

Los deslizamientos de tierra ocurren con mayor frecuencia que cualquier otro evento geológico. Se producen a diario en las capas más superficiales del terreno como consecuencia de fuertes precipitaciones o de ondas sísmicas. Un Terremoto violento también puede desencadenar decenas de miles de deslizamientos de diversa gravedad y los mismos varían según el tipo de movimiento caídas, deslizamientos, derrumbe.

En todos los casos los deslizamientos o movimientos de masa no son iguales, y para poder evitarlos o mitigarlos es indispensable saber las causas y la forma como se originan.

- **Proceso**

- **Caída**

Una caída se inicia con el desprendimiento de suelo o roca en una ladera muy inclinada. El material desciende principalmente a través del aire por caída, rebotando o rolando. Ocurre en forma rápida sin dar tiempo a eludirlos.

- **Volcamiento**

Consiste en el giro hacia delante de una masa de suelo o roca respecto a un punto o eje debajo del centro de gravedad del material desplazado, ya sea por acción de la gravedad o presiones ejercidas por el agua.

- **Deslizamiento**

Es el movimiento, hacia abajo de una ladera, de una masa de suelo o roca el cual ocurre principalmente sobre una superficie de ruptura o falla (debilidad del terreno) y se puede presentar de dos formas:

Deslizamiento Rotacional: Los desplazamientos ocurren o tienen lugar a lo largo de una superficie de ruptura de forma curva o cóncava.

Deslizamiento Traslacional: Consiste en el desplazamiento de una masa a lo largo de una superficie de ruptura de forma plana u ondulada.

- **Flujos de tierra**

Son movimientos lentos de materiales blandos. Estos flujos frecuentemente arrastran parte de la capa vegetal.

- **Flujos de lodo**

Se forman en el momento en que la tierra y la vegetación son debilitadas considerablemente por el agua, alcanzando gran fuerza cuando la intensidad de las lluvias y su duración es larga.

- **Reptación**

Es la deformación que sufre la masa de suelo o roca como consecuencia de movimientos muy lentos por acción de la gravedad. Se suele manifestar por la inclinación de los árboles y postes, el corrimiento de carreteras y líneas férreas y la aparición de grietas.

- **Reología Clásica**

En el área de interés se han llevado a cabo estudios de características de resistencia de mezclas de suelos y asfaltos, bajo ciertas condiciones de esfuerzos (Abdelhady y Herrin, 1965). Aplicando esfuerzos constantes se observa la evolución de las deformaciones en el tiempo, por ejemplo, pruebas de creep. En Sheldon (2008) se presentan estudios de materiales viscoelásticos que poseen mezclas de propiedades viscosas y elásticas. Como es usual, esto se caracteriza mediante conjuntos de resortes y amortiguadores. En lo referente a actividades experimentales, se tiene una amplia gama de investigaciones, como el estudio de propiedades reológicas de suelos húmedos bajo esfuerzos constantes y oscilatorios (Teamrat y Dani, 2001). Se ha estudiado el efecto de cambios en la estructura del suelo por la actividad y procesos agrícolas. También se han investigado las propiedades reológicas de suelos, al ensayar especímenes en pruebas de torsión con régimen cinemático, (Meschyan y Taslagyan, 2005). Aigner et al. (2009) realizaron estudios multiescala para predicción del comportamiento de mezclas de concreto y asfalto. Se incluyen estudios del efecto de temperatura en las propiedades viscoelásticas. En ariaratnam et al. (2003) se presenta una evaluación de propiedades reológicas de flujos de retorno en perforaciones horizontales direccionales, muy útil en fractura miento hidráulico.

- **Reología Fraccionaria**

En este tema se tienen trabajos sobre visco-elasticidad en arterias mediante experimentos de relajación (Craiem y Armentano, 2007). Para el ajuste de las curvas experimentales se emplean pruebas uniaxiales y modelos de ecuaciones diferenciales fraccionarias. También se han realizado estudios de visco-elasticidad en huesos, utilizando modelos reológicos fraccionarios

(Liu y Xu, 2008). Asimismo, se tienen estudios con cálculo fraccionario donde se modelan ecuaciones constitutivas ligadas a teorías moleculares para describir el comportamiento macroscópico de medios visco-elásticos (Bagley, 1986). En Schmidt y Gaul (2001) se presenta una implementación para análisis, utilizando el método del elemento finito de relaciones constitutivas que involucran ecuaciones diferenciales fraccionarias. Con este tipo de ecuaciones, el número de parámetros necesarios para ajustar curvas experimentales es menor que con ecuaciones diferenciales con derivadas de orden entero. También, se han hecho estudios de materiales con microestructura desordenada basados en geometría fractal y cálculo fraccionario (Carpinteri et al., 2004). Se analiza también el efecto del tamaño de partículas en el comportamiento estructural de muestras de materiales heterogéneos y su relación con el número de parámetros necesarios para el ajuste a curvas experimentales; todo esto es muy útil en estudios de fracturamiento. En Koh y Kelly (1990) se presenta una aplicación de derivadas fraccionarias para análisis de modelos con aislamiento de base para analizar problemas de aislamiento de vibraciones.

- **Antecedentes De Cálculo Fraccionario Y Ecuaciones Diferenciales Fraccionarias**

El concepto de cálculo fraccionario no es nuevo existe hace más de tres siglos. Es una generalización de la diferenciación y la integración ordinarias (enteras) a órdenes no-entero (reales e incluso, complejos). El nacimiento del cálculo fraccionario se data en 1695. En ese año, L'Hôpital planteó en una carta a Leibniz (Arafet et al., 2008) la cuestión de cómo debería entenderse la expresión, introducida por el propio Leibniz:

$$D^n f(t) = \frac{d^n f(t)}{dt^n}$$

Ecuación 20

Leibniz trabajó en el tema y consideró “derivadas de orden general”, además de introducir la notación $D^{1/2} f(x)$ para denotar la derivada de orden $1/2$. Desde entonces destacados matemáticos, como Euler, Laplace, Fourier, Abel, Liouville, Riemann, Laurent y Weyl, han contribuido al desarrollo del cálculo fraccionario. Muchos encontraron, utilizando su propia notación metodológica, las definiciones que se ajustan al concepto de integral o derivada de orden no entero. Las definiciones más conocidas en el mundo del cálculo fraccionario son las de Riemann-Liouville and Grunwald-Letnikov (Arafet et al., 2008). Hoy en día existe una vasta literatura sobre el tema llamado cálculo fraccionario (CF), cálculo fraccional o cálculo generalizado (Fractional Calculus, Differintegral Calculus). En distintas áreas de la ciencia se han escrito diversos artículos mostrando las más variadas aplicaciones (Denath, 2003). Entre las aplicaciones más comunes del CF se encuentran: la reología, biología cuántica, electroquímica, teoría de la dispersión, difusión, teoría del transporte, probabilidad y estadística, teoría del potencial, elasticidad, viscosidad y teoría de control automático; dos aplicaciones recientes son: en matemáticas financieras y en la teoría de fractales. Por ejemplo, se ha demostrado que los arreglos de orden fraccionario son más apropiados que los de orden entero para describir las propiedades de algunos materiales como los polímeros. Actualmente existen paquetes desarrollados para el cálculo fraccionario y para el control automático fraccionario (por ejemplo, la aplicación gratuita Ninteger para Matlab, disponible en internet). A continuación, se presenta la definición formal de derivada fraccionaria, comenzando por mostrar algunos casos simples que ayudan a comprender lo que es una derivada fraccionaria. Recordando algunas notaciones de cálculo elemental, la n -ésima derivada de una función f está definida recursivamente por:

$$D_x^0 f(x) \equiv f(x); D_x^n f(x) \equiv D_x [D_x^{n-1} f(x)], \quad (n = 1, \dots, 2)$$

Ecuación 21

Análogamente, la n -ésima integral de f está definida por

$$D_x^{-1/2}(1) = \frac{1}{\Gamma(1/2)} \int_0^x (x-t)^{-1/2}(1)dt = \frac{1}{\pi^{1/2}} \int_0^x u^{-1/2}(1)du$$

$$(\text{con } t = x - u); D_x^{-1/2}(1) = \frac{2}{\pi^{1/2}} x^{1/2}$$

Ecuación 22

Puede probarse que la segunda integral en (2) se puede reducir a una integral sencilla y está dada por:

$$D_x^{-0} f(x) \equiv f(x); D_x^{-n} f(x) \equiv \int_0^x D_t^{-(n-1)} f(t) dt \quad (n = 1, 2, \dots)$$

Ecuación 23

El propósito es generalizar (2) y (3) sustituyendo n por un número real positivo α . Para ello se hace uso de la ya conocida función gamma de Euler. Para cualquier $\alpha > 0$, se define la integral fraccionaria de orden α de una función f (continua) como:

$$D_x^{-n} f(x) = \frac{1}{(n-1)!} \int_0^x (x-t)^{n-1} f(t) dt, \quad (n = 1, 2, \dots)$$

donde $(n-1)! \equiv (n-1) \cdot (n-2) \cdots 2 \cdot 1$

Ecuación 24

La ecuación (4) se llama integral fraccionaria de Riemann-Liouville (Rocha, 2003). Note que cuando $\alpha = n$, la definición anterior se reduce a la fórmula usual dada en (3). Por ejemplo, sea $f(x) = 1$ y $\alpha = 1/2$. Entonces:

$$D_x^{-\alpha} f(x) \equiv \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x (x-t)^{\alpha-1} f(t) dt$$

Ecuación 25

Para comparar, se remarca que $(1) \int_0^x 1 \, dx = x$ (lo que significa que no se está transformando la función) mientras que $D_x x = 1$ (lo cual es solo una antiderivada de 1). La derivada fraccionaria puede definirse en términos de la integral fraccionaria (Rocha, 2003). Sea m el menor entero positivo mayor o igual que un número positivo α (por ejemplo, $m = 1$ cuando $\alpha = 1/2$). Entonces D_x^m es solo la m -ésima derivada usual y $m - \alpha \geq 0$. Para cualquier $\alpha > 0$, la derivada fraccionaria de orden α de una función f (continua) se define como:

$$\sigma(t) = E\varepsilon(t) + \eta \frac{\partial \varepsilon(t)}{\partial t}$$

Ecuación 26

Observe que $D_x^{-(m-\alpha)}$ es la integral fraccionaria de orden $m - \alpha$. Continuando con el ejemplo anterior, donde $f(x) = 1$, la derivada fraccionaria de orden $1/2$ de f es:

$$D_x^\alpha f(x) \equiv D_x^m \left[D_x^{-(m-\alpha)} f(x) \right]$$

Ecuación 27

Este resultado es absolutamente inesperado, ya que la derivada usual de una constante es 0, lo cual ilustra una de las muchas diferencias entre los operadores de derivación clásicos y fraccionarios. (Ozores, 2014)

- **Reología Fraccionaria**

Los arreglos reológicos, como los arreglos clásicos de Kelvin-Voigt y Maxwell (figura 1), se pueden modificar para tratarse como arreglos reológicos fraccionarios (Meral et al., 2010); se conocen como arreglo fraccionario de Kelvin-Voigt FVM (Fraccional Voigt Model) y arreglo fraccionario de Maxwell FMM (Fraccional Maxwell Model) (Liu y Xu, 2006). Estos arreglos dan mayor versatilidad en la simulación del comportamiento de materiales complejos, tales como los suelos, debido a que resultan más eficientes, pues requieren menos parámetros que

un modelo clásico equivalente para simular adecuadamente un material viscoelástico. La ecuación diferencial del arreglo Kelvin (Gurtin y Sternberg, 1962) (figura 1) expresada con la derivada entera es:

$$D_x^{1/2} f(x) = D_x^1 [D_x^{-(1/2)}(1)] = D_x \left(\frac{2}{\pi^{1/2}} x^{1/2} \right) = \frac{1}{\pi^{1/2}} \frac{1}{x^{1/2}}$$

Ecuación 28

Ahora, escribiendo la misma ecuación, pero con derivada fraccionaria (Meral et al., 2010) resulta:

$$\sigma(t) = E\varepsilon(t) + \eta \frac{\partial^\alpha \varepsilon(t)}{\partial t^\alpha}$$

Ecuación 29

donde α es el exponente fraccionario arbitrario. En la ecuación (13) se observa la generalización de un arreglo clásico a uno fraccionario. Las constantes E y η (módulos de rigidez y viscosidad, respectivamente), que representan las propiedades viscoelásticas del material aparecen en ambas ecuaciones, lo que cambia es el orden de la derivada en el término de velocidad de deformación $\partial^\alpha \varepsilon / \partial t^\alpha$ en donde α es un número real que representa el orden de la derivada, que en el caso de la ecuación clásica vale 1.0. Estrictamente hablando, cuando $\alpha < 1$ no puede hablarse de una velocidad de deformación, por lo que su sentido físico desaparece. Sin embargo, como se verá a continuación, una derivada fraccionaria de la deformación es una transición entre un sólido perfecto (resorte, para un valor de derivada fraccionaria igual a cero) y un elemento de Newton (amortiguador, para un valor de derivada fraccionaria igual a uno), lo cual implica que tiene ambos comportamientos. Por tanto, un elemento amortiguador fraccionario es una generalización de un elemento viscoso a uno viscoelástico fraccionario. De acuerdo con Schiessel y Blumen (1993), un elemento amortiguador fraccionario puede entenderse como un arreglo finito (en realidad es infinito, pero puede acotarse) de resortes y

amortiguadores como el que se presenta en la figura 2a. De forma similar, pueden generalizarse los arreglos como los de Kelvin y Maxwell. En la figura 2b se presenta el esquema generalizado de Maxwell. Plantear una ecuación diferencial que modele a un arreglo como los que se presentan en la figura 2 se torna complicado, y es por ello que las ecuaciones diferenciales fraccionarias permiten trabajar con relativa facilidad fenómenos tan complejos como el de creep.

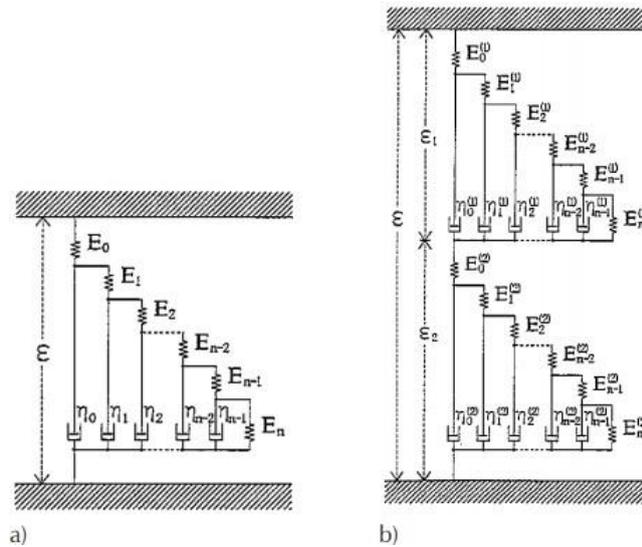


Ilustración 14 Diagramas de arreglos mecánicos finitos usados para simular, a) un elemento amortiguador generalizado y b) un arreglo de Maxwell generalizado

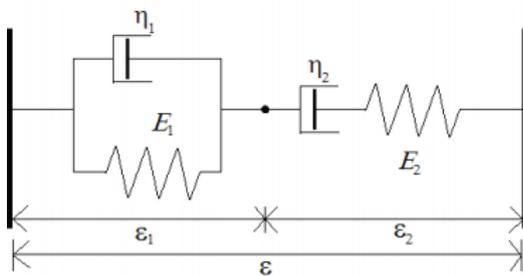


Ilustración 15 Arreglo en serie (FVMS)

Más adelante se presenta la ecuación diferencial fraccionaria correspondiente al arreglo reológico fraccionario de Burgers, el cual requiere de cuatro constantes viscoelásticas y tres exponentes fraccionarios. Se le llama de orden superior (Liu y Xu, 2006) ya que el orden de la derivada fraccionaria mayor es $b + g$, el cual puede alcanzar un valor máximo de 2 si se considera que las derivadas fraccionarias pueden tomar valores entre 0 y 1.

- **Análisis Paramétrico Del Modelo FVMS**

En esta sección se presenta un análisis paramétrico de la ecuación (20), con el objeto de observar la sensibilidad de dicha ecuación ante la variación de los exponentes fraccionarios y las constantes viscoelásticas. Para facilitar la observación de la variación de los parámetros fraccionarios, la función $J(t)$ se analiza separando cada uno de sus tres términos, de forma que:

$$J(t) = J_0(t) + J_1(t) + J_2(t)$$

Ecuación 30

En primer lugar, se presenta el análisis paramétrico del segundo término de la ecuación (20), $J_1(t) = 1/h_2 \cdot t^\beta / \Gamma(\beta+1)$. En la figura 4 se presenta la gráfica tridimensional de $J_1(t)$ variando t y β . A manera de ejemplo, el valor de h_2 se fijó en 100. Puede apreciarse la variación de la función $J_1(t)$ al variar tanto el tiempo t como el exponente fraccionario β . Cuando $\beta = 0$, $J_1(t)$ se comporta como una función constante con valor $1/h_2 = 0.01$. Al variar el exponente fraccionario, la función $J_1(t)$ se comporta como una parábola dependiente del parámetro β y la función Γ . Cuando $\beta = 1$, $J_1(t)$ se comporta como una recta con pendiente igual a 0.01.

- Interpretación física

Cuando $\beta = 0$, el elemento fraccionario se comporta como un sólido perfecto (elemento de Hooke), mientras que cuando $\beta = 1$ el elemento fraccionario se comporta como un fluido (elemento de Newton). Para valores intermedios, $0 < \beta < 1$, se tiene una transición suave, en donde participan combinados en un arreglo jerárquico elementos amortiguadores y resortes

como el mostrado en la figura 2. En ese arreglo, dependiendo del valor de las constantes viscoelásticas, se obtendrá el valor de β para un elemento amortiguador fraccionario equivalente. Por tanto, cuando $\beta \rightarrow 1$ se incrementa la participación de los elementos viscosos (amortiguadores). El primer término de la ecuación (20), $J_0(t) = 1/E_2 \cdot t^{\beta-\alpha}/\Gamma(\beta - \alpha + 1)$, presenta el mismo comportamiento que el del caso anterior, con la diferencia de que ahora se ve afectado por el exponente fraccionario α . En este caso se debe cumplir que $\beta \geq \alpha$ para que exista estabilidad termodinámica. Fijar los valores de α y β de manera que se cumpla la igualdad $\beta = \alpha$ resulta de gran utilidad para simular la deformación instantánea en los materiales, ya que su contribución a la función $J(t)$ en este caso, es de una función escalón con valor $1/E_2$. A continuación se muestra el análisis paramétrico del tercer término de la función $J(t)$, $J_2(t) = 1/h_1 \cdot t^g E_{g,g+1}(-c_1 t^g)$, donde $c_1 = E_1/h_1$. A manera de ejemplo, los valores de E_1 y h_1 se fijaron en 100, dando $c_1 = 1$. En la figura 5 se presenta la variación de la función $J_2(t)$ al variar los parámetros t y g . Observando la gráfica de la figura 5, puede apreciarse que cuando $g = 0$, la función toma la forma de una constante con valor igual a $J_2(t) = 0.005$. Cuando $g = 1$, $J_2(t)$ toma la forma de una parábola asintótica, en este caso a un valor de 0.01. Para valores intermedios, $0 < g < 1$, la función $J_2(t)$ toma la forma de parábolas asintóticas a constantes con valores intermedios a los presentados para $g = 0$ y $g = 1$. Interpretación física. Puede interpretarse físicamente como la deformación dada en el elemento amortiguador fraccionario y está restringida por el elemento elástico (resorte); en este caso, la deformación en el arreglo no es inmediata, sino que existe un tiempo de retardo en donde después de cierto tiempo la deformación máxima se alcanza. Cuando $\gamma = 1$, se tiene el arreglo clásico de Kelvin y la deformación máxima la rige el elemento elástico. En este caso, la función $J_2(t)$ tiende a una asíntota con un valor constante de 0.01. Cuando $g = 0$ el arreglo se transforma en un arreglo de dos elementos elásticos en paralelo, por lo que la deformación es inmediata y no existe un tiempo de retardo. La función $J_2(t)$ adquiere un valor máximo instantáneo, en este caso de

005 , debido a la contribución de los dos elementos elásticos, la cual se mantiene constante en el tiempo. La suma algebraica de las funciones $J_0(t)$, $J_1(t)$, $J_2(t)$ dan como resultado un efecto total sobre la función $J(t)$. Con el análisis paramétrico antes presentado se tiene una mejor comprensión del comportamiento que exhibe $J(t)$ al variar principalmente los exponentes fraccionarios, ya que dependiendo del valor que tomen estos, $J(t)$ puede evolucionar en el tiempo de formas muy variadas.

- **Ajustes De Curvas Experimentales Con El Modelo FVMS**

Con el objetivo de aplicar el modelo FVMS se diseñó una serie de pruebas sobre especímenes de mezclas de bentonita y caolín formados en el laboratorio. Como trabajo previo a este artículo puede consultarse la referencia Herмосillo et al. (2010). Se consolidaron tres mezclas de caolín y bentonita [M1 (90% caolín + 10% bentonita), M2 (80% caolín + 20% bentonita) y M3 (70% caolín + 30% bentonita)] con el fin de disponer de materiales con diferentes índices de plasticidad. Previo a los ensayos de creep se realizaron pruebas de resistencia del tipo CU (consolidadas no drenadas) para determinar la carga máxima de resistencia (P) correspondiente a cada material. Durante la etapa de consolidación se determinó que el esfuerzo de preconsolidación promedio para todos los materiales fue entre 0.3 y 0.4 kgf/cm² , por lo que los ensayos de creep se realizarían a un esfuerzo efectivo de 1 kgf/cm² para garantizar que el creep se desarrollara sobre el tramo virgen de la curva de compresibilidad.

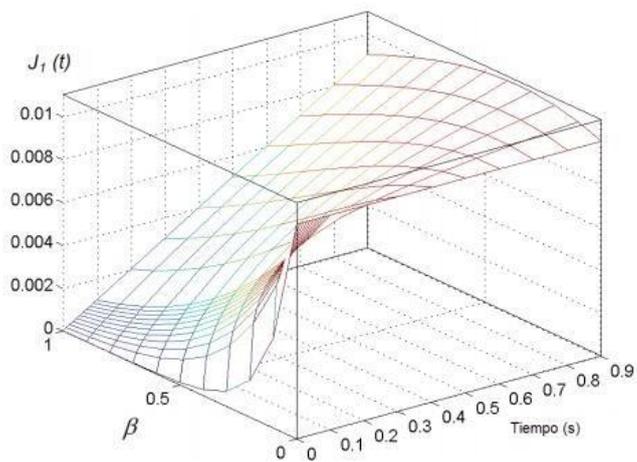


Ilustración 16 Análisis paramétrico del término $J_1(t)$

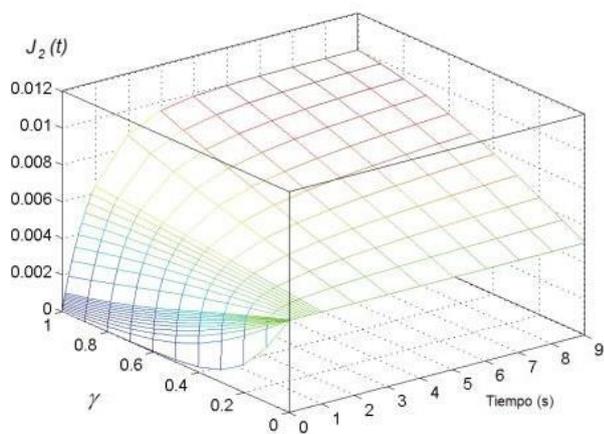


Ilustración 17. Análisis paramétrico del término $J_2(t)$

- **Ensayos De Creep**

Consolidadas las muestras y la obtención previa de la carga de resistencia para cada material, se realizaron 6 ensayos de creep con el material M1, 5 ensayos con el M2 y 3 con el M3, aplicando diferentes porcentajes de la carga de resistencia (P), correspondiente a cada material. La carga que se aplicó a cada una de las muestras se generó colocando pesas en el sistema mecánico de las cámaras triaxiales (figura 6). Gracias a la instrumentación electrónica de las cámaras se pudieron registrar los desplazamientos inducidos y las presiones aplicadas en las muestras durante el tiempo que duraron las pruebas de creep. El comportamiento de los materiales observado mediante las curvas de deformación contra tiempo, se logró reproducir usando la ecuación fraccionaria de creep, como se presenta en el siguiente apartado; la reproducción adecuada del comportamiento de esas curvas mediante el modelo fraccionario se comenta más adelante.

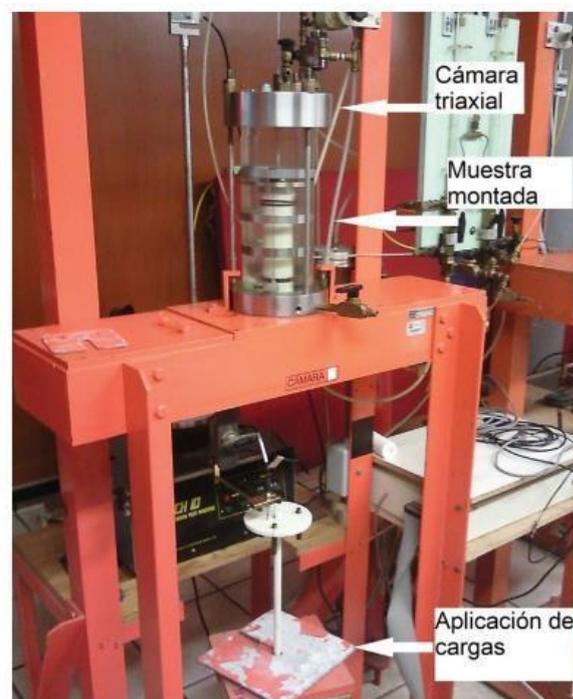


Ilustración 18 Muestra montada en cámara triaxial y aplicación de carga para generar creep

Empleo del modelo reológico fraccionario y obtención de parámetros Con la ecuación (20) se realizaron los ajustes a cada una de las curvas obtenidas de las pruebas de creep. Para el ajuste de curvas se utilizó una herramienta numérica en Matlab llamada CFTOOL, la cual está diseñada para realizar ajustes de series de datos con funciones definidas por el usuario, determinando los valores de las constantes de la función que mejor ajustan a dicha serie (minimiza una función de distancia entre la serie de datos y la función definida por el usuario). En las tablas 1, 2 y 3 se presenta un resumen de los parámetros para las mezclas M1 y M2 y M3. En las tablas 1 a 3 puede notarse que para el amortiguador fraccionario del cuerpo de Maxwell se tienen valores de la constante h_2 muy grandes, respecto a los demás, lo cual indica que este elemento no influye en el comportamiento visco-elástico del modelo por tener una viscosidad que tiende al infinito. También puede notarse que los valores de α y β son iguales a 1, lo cual implica que el primer término en la ecuación (20) tiene un valor constante $1/E_2$ que corresponde a la deformación elástica instantánea de la probeta al aplicar una carga instantánea. Se puede ver que para cargas menores que 70%, el valor de la constante viscoelástica E_1 es nulo y eso implica que solo participa el amortiguador fraccionario en el arreglo de Kelvin. Para cargas cercanas al esfuerzo de resistencia se tiene una deformación instantánea mayor y la constante E_1 adquiere un valor pequeño que influye en el comportamiento a largo plazo en la curva tiempo-deformación. En las figuras 7, 8 y 9 se presentan las curvas correspondientes a los datos registrados durante los ensayos de creep para los materiales M1, M2 y M3, para diferentes magnitudes de carga. Cada una de las curvas se ajustó utilizando el modelo fraccionario ya descrito. Las curvas ajustadas se presentan superpuestas a las experimentales en las mismas gráficas. Como caso comparativo, en la figura 10 se presentan los ajustes de algunas curvas de creep registradas para el material M1 utilizando la ecuación clásica del arreglo de Burgers. Puede notarse la baja capacidad para simular el fenómeno, debido a que se requiere de un arreglo mecánico más elaborado y su ecuación diferencial correspondiente.

Puede apreciarse que las curvas experimentales se reproducen adecuadamente solo para tiempos cortos (menos de 3000 minutos en dichas pruebas). En general, como se puede apreciar en los ajustes anteriores, la función $J(t)$ fraccionaria resulta ser adecuada para simular el fenómeno de creep en suelos arcillosos. Por último, se presentan las conclusiones referentes al ajuste de curvas experimentales mediante modelos reológicos fraccionarios y su importancia sobre los modelos clásicos.

Ensayos de creep, Mezcla M ₁ : Caolín 90 %- Bentonita 10%						
Carga [kgf]	2.0	3.0	4.0	5.0	7.0	9.0
α	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
β	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
γ	0.496	0.562	0.310	0.159	0.423	0.457
E_1 [kgf / cm ²]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.52
E_2 [kgf / cm ²]	367.00	278.90	201.3	317.60	387.00	128.20
η_1 [kgf · s / cm ²]	77870.00	302400.00	11000.00	1150.00	65280.00	805.60
η_2 [kgf · s / cm ²]	1E+12	1E+12	1E+12	1E+12	9E+12	8E+12

Tabla 4 Parámetros fraccionarios obtenidos con el ajuste de curvas, material M1

Ensayos de creep, Mezcla M ₂ : Caolín 80 %- Bentonita 20%						
Carga [kgf]	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
α	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
β	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
γ	0.49	0.17	0.25	0.22	0.30	0.34
E_1 [kgf / cm ²]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.59
E_2 [kgf / cm ²]	261.30	330.10	205.00	420.00	370.00	261.90
η_1 [kgf · s / cm ²]	84500.00	1105.10	3100.00	3700.00	9500.00	418.40
η_2 [kgf · s / cm ²]	1.00E+12	1.00E+12	1.00E+12	1.00E+12	1.00E+12	1.00E+12

Tabla 5 Parámetros fraccionarios obtenidos con el ajuste de curvas, material M2

Ensayos de creep, Mezcla 3 (M ₃): Caolín 70 %-Bentonita 30%			
Carga [kgf]	3.25	4.5	5.6
α	100	1.00	0.90
β	1.00	1.00	0.90
γ	0.21	0.22	0.26
$E_1 \eta_1$ [kgf/cm ²]	0.00	0.00	20.24
E_2 [kgf/cm ²]	270.60	254.20	196.0
η_1 [kgf·s/cm ²]	2050.00	1800.00	469.20
η_2 [kgf·s/cm ²]	1.00E+12	1.00E+12	1.00E+12

Tabla 6 Parámetros fraccionarios obtenidos con el ajuste de curvas, material M3

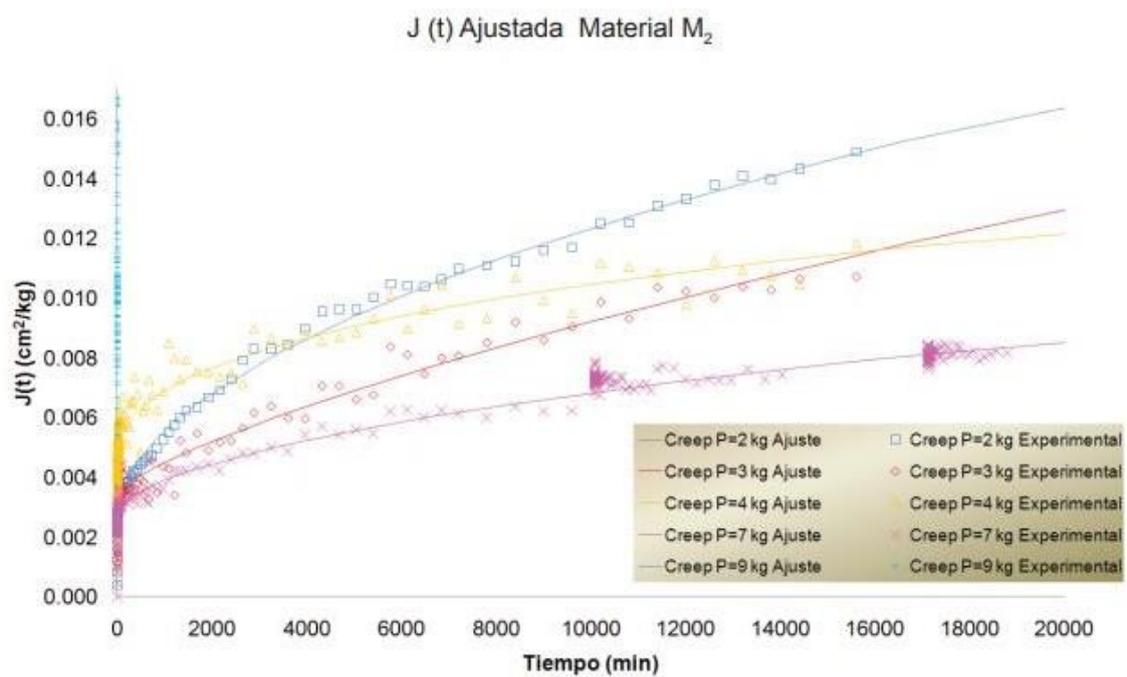


Ilustración 19. Curvas experimentales, ensayos de creep. Material M1

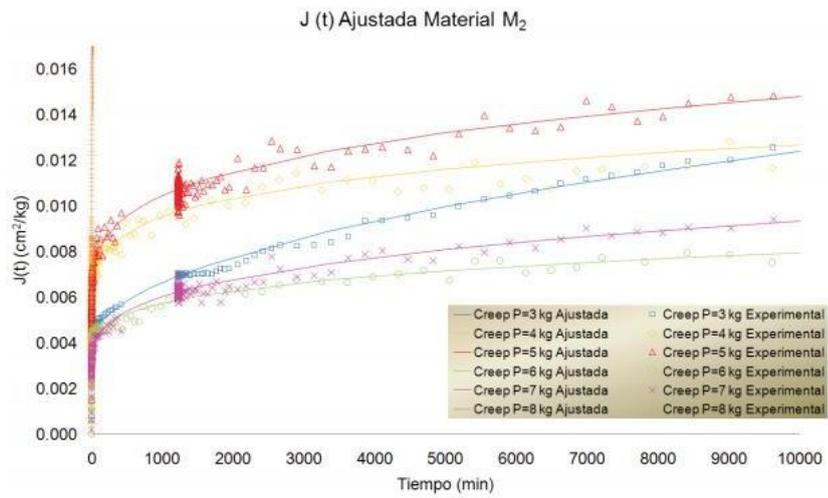


Ilustración 20 Curvas experimentales, ensayos de creep. Material M₂

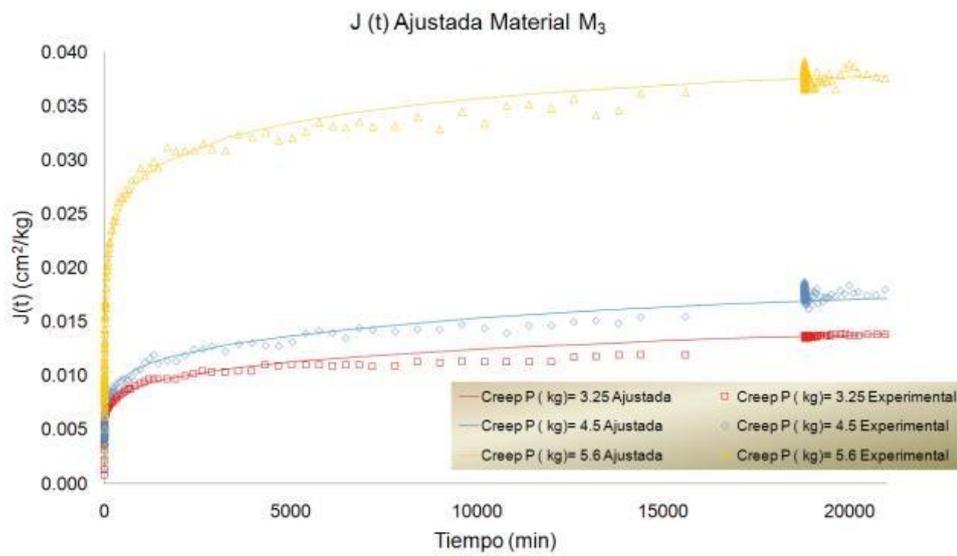


Ilustración 21 Curvas ajustadas con el modelo reológico fraccionario, material M₃

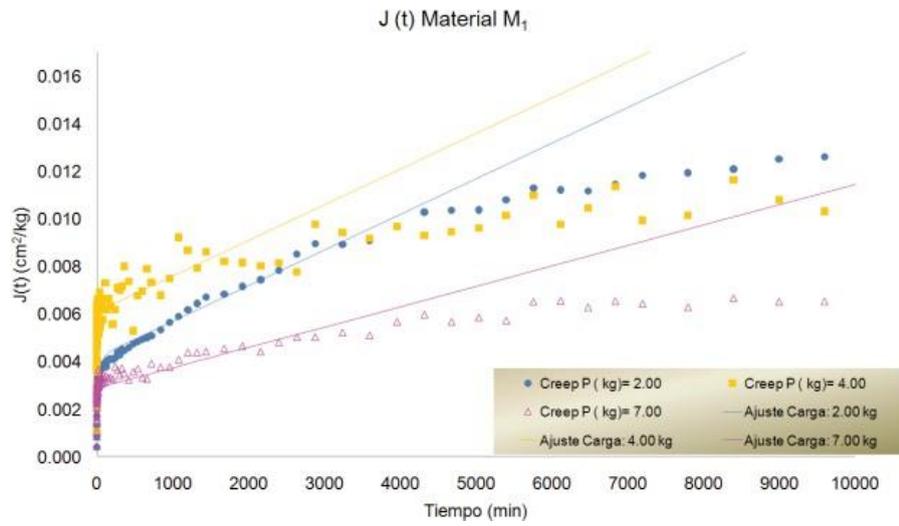


Ilustración 22 . Curvas ajustadas con el arreglo clásico de Burgers, material M_1

Marco Legal

Titulo h. normas nsr-10 Estudios geotécnicos.

El titulo H de las Normas de Sismo Resistencia, tiene como objetivo establecer criterios básicos para realizar estudios geotécnicos de edificaciones, basados en el estudio del subsuelo y las características arquitectónicas y estructurales de las construcciones, creando a partir de estos estudios, recomendaciones para la construcción, excavaciones y demás, con el fin de soportar y disminuir los efectos sísmicos y amenazas geotécnicas desfavorables. Es de suma importancia los estudios geotécnicos para todas las edificaciones urbanas y suburbanas.

Los estudios deben estar firmados por el ingeniero director del estudio en cuanto al diseño y la construcción. Se debe ser responsable con el cumplimiento de la norma para la ejecución de estudios geotécnicos, investigaciones y análisis para identificar amenazas geotécnicas.

Es de suma importancia tener conocimiento de la nomenclatura para la correcta ejecución de las normas de estudio geotécnico.

NORMATIVIDAD	CONTENIDO
NSR-10, titulo H	Método normativo que ayuda a la determinación de lo que debe llevar las estructuras en Colombia con referencia al estudio de suelos.
NTC 1493	Suelos. Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad. (ASTM D 4318)
NTC 1503	Suelos. Ensayo para determinar los factores de contracción. ASTM D 427)
NTC 1504	Suelos. Clasificación para propósitos de ingeniería. (ASTM D 2487)
NTC 1667	Determinación de la masa unitaria en el terreno por el método del cono de arena. (ASTM D 1556)
NTC 1936	Determinación de la resistencia en rocas. Método de la compresión triaxial. (ASTM D2664)
NTC 4630	Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos.
ASTM D 2166-06	Suelos. Ensayo para determinar la resistencia a la compresión inconfinaada.

Localización

El proyecto se desarrollará en el sector del barrio 10 de Mayo del municipio de Girardot, el cual se encuentra ubicado en la República de Colombia, sus coordenadas Geográficas son: latitud norte $4^{\circ}18'00''$ y longitud oeste $74^{\circ}47'51''$ (según el IGACC). Girardot limita al norte con los municipios de Nariño y Tocaima, al sur con el municipio de Flandes y el Río Magdalena, al oeste con el municipio de Nariño, el Río Magdalena y el municipio de Coello y al este con el municipio de Ricaurte y el Río Bogotá. La temperatura media anual es de 27.8°C .4 (SANDRA, 2019)

Descripción Geográfica

El municipio de Girardot se encuentra ubicado a las orillas del río Magdalena y pertenece al departamento de Cundinamarca, se encuentra localizado a 134 km al suroeste de la ciudad de Bogotá, como se puede observar en el mapa Geográfico.



Figura. 1 Ubicación Geográfica de Girardot Fuente: google map

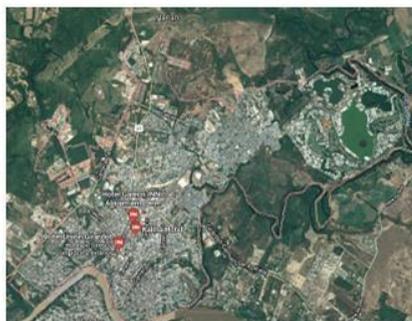


Figura. 2. ubicación satelital Girardot Fuente: google Earth

Límites De La Zona De Estudio

El barrio 10 de Mayo se encuentra ubicado en la comuna 2 del municipio de Girardot, donde sus coordenadas geográficas son; $09^{\circ}19'20.9''$ norte y $09^{\circ}66'26.9''$ oeste.

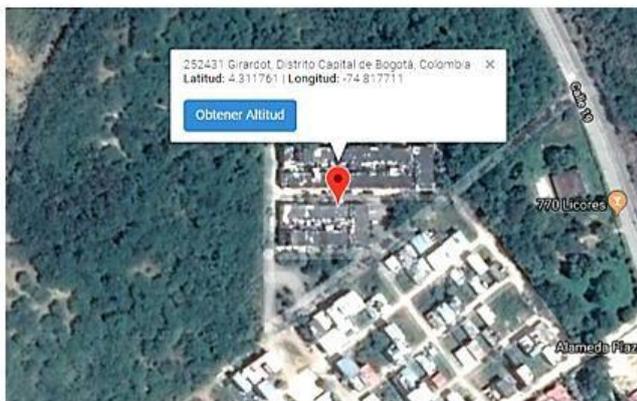


Figura. 3 Ubicación satelital Ciudadela Con Girardot fuente: Google Earth

Para realizar un correcto estudio de suelos se debe tener en cuenta las directrices contempladas en las diferentes normas vigentes referente a estos estudios. (Girardot, 2012)

NORMATIVIDAD	CONTENIDO
NSR-10, título H	Método normativo que ayuda a la determinación de lo que debe llevar las estructuras en Colombia con referencia al estudio de suelos.
NTC 1493	Suelos. Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad. (ASTM D 4318)
NTC 1503	Suelos. Ensayo para determinar los factores de contracción. ASTM D 427)
NTC 1504	Suelos. Clasificación para propósitos de ingeniería. (ASTM D 2487)
NTC 1667	Determinación de la masa unitaria en el terreno por el método del cono de arena. (ASTM D 1556)
NTC 1936	Determinación de la resistencia en rocas. Método de la compresión triaxial. (ASTM D2664)
NTC 4630	Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos.
ASTM D 2166-06	Suelos. Ensayo para determinar la resistencia a la compresión inconfinaada.

Tabla 7

Metodología

Según el grado de manipulación de variables en el proyecto, el tipo de investigación que se empleará en este caso es una investigación de campo, puesto que se tomarán datos en ambientes reales, para hacer analizados en laboratorios, con el fin de describir de qué modo o por qué causas se produce una situación o acontecimiento en particular.

El desarrollo del proyecto implica investigaciones preliminares, que involucra estudios básicos de geología superficial y geotecnia, para obtener un nivel de información apropiado que permita la preparación de planes opcionales en la realización del proyecto en las etapas posteriores.

Los estudios de campo y su programación, así como cualquier decisión a efectuarse durante el proceso, están básicamente orientados a la obtención de información que será entregada a la comunidad y las autoridades competentes, para que implementen las medidas correspondientes.

El estudio está propuesto para ser realizado en las siguientes fases, como puede verse en todas ellas se obtendrá información que hará posible continuar con la siguiente hasta dar cumplimiento con el objetivo principal de la investigación.

Determinación del lugar de investigación y recopilación de la información pertinente. En esta fase se determinará el sector donde se llegará a cabo el proyecto de la investigación, se recogerá información sobre la población que habita el sector.

Estudio de campo: Se realizarán las exploraciones técnicas del sector, lo que implica una relación directa con el área a investigar. Con posterioridad, se procesarán las muestras recolectadas, para sus análisis correspondientes.

Reconocimiento del campo: en este aspecto trataremos las exploraciones técnicas del sector, mediante la realización de sondeos; ensayos de laboratorio basado en los métodos que se aplicarán en el estudio y determinación de las características.

. Análisis de la información: una vez analizada y procesada la información de campo recolectada, se realizará una descripción del entorno geológico regional y local definiendo las secuencias estratigráficas; el perfil estratigráfico del sector. Con los estudios respectivos realizados, se pretende plantear alternativas de solución, apoyándose en los resultados y conclusiones definidas en el trabajo de investigación y la normatividad teniendo en cuenta NTC y NRS-10

Propuesta Solución (El estudiante debe realizar su aporte desde la parte disciplinar). El estudio pretende identificar y analizar todas las características geológicas del suelo del sector para definir su composición y averiguar las causas por las cuales se están presentando los deslizamientos de tierra y problemas de construcción en las viviendas objeto de estudio.

En primera instancia se desarrollará un estudio de la plancha geológica de Girardot, para determinar qué tipo de suelo es el que compone la ciudad y que puede afectar las diferentes urbanizaciones de la ciudad, también para constatar el posible desconocimiento del enfoque geológico en el momento de controlar, aprobar o autorizar la expansión urbana, para eso se realizará un barrido de la zona determinando los afloramientos de los eventos a encontrar, también se harán estudios geotécnicos para determinar el comportamiento del sub-suelo por medio de sondeos y calicatas que determinará la posible solución de las construcciones que podrían estar en riesgo. El estudio a realizar se convertirá en un aporte importante al conocimiento geológico actual y contribuiría a la prevención de desastres por causa de eventos naturales como son los sismos.

Alcance

1. Se determinará un sector de la ciudad que presente la mayor complejidad de riesgos provenientes de posibles causas geológicas y geotécnicas, se realizarían estudios de ensayo para obtener información, analizarla e informar de los resultados a las autoridades competentes y afectadas, para que se tomen las medidas correspondientes.
2. Buscar mapas, libros, internet, consulta u otros medios de información sobre el sector que se estudia para alimentar más la investigación y generar mayor impacto y trascendencia.
3. Se cuenta con el apoyo incondicional de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, que posee laboratorios que permitirán a la investigación obtener resultados científicos confiables.
4. Cumpliendo con los objetivos del proyecto se podrán mencionar las posibles causas que generan los diferentes problemas que se observan en el sector de estudio.
 - Reunión con el docente cuyo objetivo es conocer la temática a trabajar e investigar en el semillero de geotécnico de la facultad de ingeniería civil universidad Uniminuto sede Girardot
 - Realizar una conceptualización e idealización con el docente para continuar y profundizar la investigación a trabajar
 - Reunión con el grupo de trabajo y el docente del semillero e investigación llevada a cabo acerca de la caracterización de la problemática presente a las fallas geotécnicas del suelo ubicado en el sector de la comuna dos exactamente en el barrio 10 de mayo del municipio de Girardot.
 - Realizar ensayo de laboratorio (spt)
 - Conceptualización y reconocimiento mediante la lectura por parte de los estudiantes que continúan con el estudio acerca de la caracterización del suelo del barrio 10 de mayo
 - Reunión con el docente para realizar visita al campo de práctica
 - Informe fotográfico detallado de la zona estudio de estabilidad de taludes

- Visitar el departamento de planeación e infraestructura del municipio de Girardot con el objetivo de recopilar información que nos sirva de apoyo para nuestra investigación.

Aportes

Por medio de las visitas que se llevaron a cabo en el sector del barrio 10 de mayo se logró realizar un análisis observatorio del estado estructural de las viviendas y muros de contención ubicados en la zona los cuales se encuentran con agrietamientos, mano de obra no calificada, deficiencias y carencias de columnas y vigas entre los espacios de muros de fachadas e interiores y divisorios

Por lo cual se llevó a cabo la realización del estudio del suelo mediante dos apiques en el sector por medio del estudio de laboratorio de (SPT) ensayo de compresión inconfiada efectuados y tomando en cuenta el estrato de limos arcillas, se establece como capacidad portante para el diseño estructural de la cimentación $2,1\text{Kg}/\text{cm}^2$

El nivel del suelo con capacidad portante es de 1.4 mts se establece considerando que esta profundidad es adecuada para generar cualquier construcción.

Alternativa 1: el primer sistema de cimentación recomendada consiste en zapatas aisladas o corridas con viga de amarre para minimizar el riesgo de asentamientos diferenciales.

Para lo que se debe generar una re sustitución de 30cm con material afirmado compactado a 95% del proctor que sirve de plataforma de apoyo de las vigas enlace y zapatas

Capacidad admisible: basado en la capacidad de soporte último $q_u: 2.1\text{kg}/\text{cm}^2$ se determinó la capacidad admisible para zapatas aisladas desplantadas a 1.4m con viga de enlace para distintos tamaños:

carga	zapatas
Tn	cuadrada
5.00	0.56
8.00	0.71
9.00	0.75
10.00	0.79
20.00	1,12

Tabla 8

Mediante Levantamiento topográfico: nos determina la distancia horizontal para plasmarlo en el programa de AutoCAD.

se logró identificar la Topografía de terreno y sus taludes por las cuales está conformado el terreno y la distancia entre puntos de los apiques el punto de partida para una serie de etapas básicas dentro de la identificación y señalamiento, la problemática allí encontrada.

Al realizar el análisis de estabilidad, para el estudio de un problema específico o de zonificación, es de gran importancia el conocimiento del mecanismo y las características de la falla ocurrida, el conocimiento adecuado de la zona de estudio, realizando, definiendo y obteniendo de la recopilación de información, el trabajo de campo, el trabajo de laboratorio y el trabajo de oficina, la geología, la propiedades geotécnica, la topografía del talud a analizar, las sobrecargas presentes, los niveles freáticos, El análisis de estabilidad de taludes es allí donde se concentra la mayor parte de la problemática que sucede en este sector causando problemas estructurales tales como: el desalojo, agrietamientos en muros de contención, agrietamientos en viviendas, colapsos de viviendas y asentamientos diferenciales observados en la placa piso de algunas viviendas

Conclusiones

- Factor de seguridad calculado es de 0.9, valor menor al factor de seguridad mínimo
- Asumido para taludes que es de 1.5, por lo tanto se verifica que el talud es inestable.
- La inclinación de los postes y arboles a simple vista indica la presencia de una falla de tipo.
 - Rotacional, este deslizamiento sigue activo debido a la escasa cobertura vegetal, a las
 - Aguas freáticas que afectan a la inestabilidad.
- El talud presenta problemas debido que La fuerza que ejerce es mayor a la que actúa o soporta esto se debe gracias a la utilización del programa slide
- Por lo cual se llevó a cabo la realización del estudio del suelo mediante dos apiques en el sector por medio del estudio de laboratorio de (SPT) ensayo de compresión encofinada efectuados y tomando en cuenta el estrato de limos arcillas, se establece como capacidad portante para el diseño estructural de la cimentación $2,1 \text{Kg/cm}^2$
- El nivel del suelo con capacidad portante es de 1.4 mts se establece considerando que esta profundidad de adecuada para generar cualquier construcción.

Recomendaciones

Mediante el trabajo realizado el objetivo de mitigar el problema presente causando por la desestabilización del terreno que presenta el talud observado por medio de los diversos estudios investigación que se llevaron a cabo en el del barrio 10 de mayo de la ciudad de Girardot se realizan las siguientes observaciones:

Crear obras de captación, conducción de aguas esorrentía, aguas lluvias y aguas subterráneas, dentro de los solares o patios de las viviendas para evitar infiltraciones en el terreno provocando saturación en el talud y asentamientos diferenciales.

Mantener una adecuada disposición de escombros y basuras evitando el almacenamiento interno de la misma para evitar una sobre carga al talud.

Realizar mantenimiento, chequeo constante de los sistemas de drenaje los cuales de garantizan el abatimiento de nivel de aguas freáticas, y el manejo de las aguas superficiales para evitar su infiltración en las capas más superficiales del suelo.

Crear zanjas colectoras que captan los escurrimientos superficiales conduciendo a la red de alcantarillado.

Contratar mano calificada y material de buena calidad para obras de reforzamiento o mejoras de sus viviendas con el objetivo de garantizar calidad de los procesos constructivo donde los beneficiarios son sus mismos habitantes mejorando la calidad de vida mitigando el riesgo a los que están expuestos.

Realizar reforzamientos estructurales en los muros de contención del barrio 10 de mayo para brindar una estabilidad en las viviendas a su alrededor.

Bibliografía

¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. (7 de

OCTUBRE de 1999). Obtenido de Investigaciones geográficas:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112000000100002)

[46112000000100002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112000000100002)

2015, S. (14 de SEPTIEMBRE de 2012). *Método equilibrio límite*. Obtenido de

[https://www.geostru.com/Help_Online_2015/SPW/ES/index.html?metodo_di_equilib](https://www.geostru.com/Help_Online_2015/SPW/ES/index.html?metodo_di_equilibrio_limite.htm)

[rio_limite.htm](https://www.geostru.com/Help_Online_2015/SPW/ES/index.html?metodo_di_equilibrio_limite.htm)

abelkrusnik02. (1 de FEBRERO de 2018). *ASENTAMIENTOS ESTRUCTURALES*. Obtenido

de [https://es.scribd.com/doc/208001138/ASENTAMIENTO-DIFERENCIAL-DE-](https://es.scribd.com/doc/208001138/ASENTAMIENTO-DIFERENCIAL-DE-ESTRUCTURAS-docx)

[ESTRUCTURAS-docx](https://es.scribd.com/doc/208001138/ASENTAMIENTO-DIFERENCIAL-DE-ESTRUCTURAS-docx)

Agreda, E. A. (4 de JUNIO de 2005). *ESTABILIDAD DE TALUDES* . Obtenido de

https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250339/2015/Tema5--Taludes.pdf

ALVARO J. GONZALEZ G., I. M. (s.f.). *CALCULO SIMPLIFICADO DE CAPACIDAD*

PORTANTE DE CIMIENTOS SUPERFICIALES EN LADERA. Obtenido de III

ENCUENTRO DE INGENIEROS DE SUELOS Y ESTRUCTURAS:

[https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-](https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/tercer_ent/calculo_simplificado_capacidad_portante.pdf)

[suelosyestructuras/documentos/tercer_ent/calculo_simplificado_capacidad_portante.p](https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/tercer_ent/calculo_simplificado_capacidad_portante.pdf)

[df](https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/tercer_ent/calculo_simplificado_capacidad_portante.pdf)

ANALISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA, E. U.

(FEBRERO de 2002). *MOVIMIENTOS DE LADERAS* . Obtenido de

https://www.ugr.es/~ren03366/DEA/TEMAS/memoria/3_MOVIMIENTOS.pdf

- APLICADA, D. D. (26 de AGOSTO de 2017). *Deslizamiento entre dos rodillos*. Obtenido de http://laplace.us.es/wiki/index.php/Deslizamiento_entre_dos_rodillos#Velocidad_de_deslizamiento
- ASTROS, I. J. (MAYO de 2003). *Métodos de análisis de los estados financieros*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos108/metodos-analisis-estados-financieros/metodos-analisis-estados-financieros.shtml>
- AVANZANDO, A. D.-G. (12 de 11 de 2019). *PASADO, PRESENTE Y FUTURO* . Obtenido de Reseña Histórica: <http://www.girardot-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Pasado-Presente-y-Futuro.aspx>
- Bernal, J. G. (s.f.). *CIMENTACIONES SUPERFICIALES: CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA*. Obtenido de Capítulo 3 : https://www.academia.edu/34743219/CIMENTACIONES_SUPERFICIALES_CAPACIDAD_DE_CARGA_%C3%9ALTIMA
- Biblus*. (17 de JUNIO de 2018). Obtenido de Vivienda unifamiliar: definición, arquitectura y proyectos para descargar: <http://biblus.accasoftware.com/es/vivienda-unifamiliar-definicion-arquitectura-y-proyectos-para-descargar/>
- Blazek, V. L. (10 de JUNIO de 2016). *Boletín de Estudios Geográficos*. Obtenido de http://www.bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/8806/boletn-estudios-geograficos-106-2016.pdf#page=91
- Blazek, V. L. (10 de JUNIO de 2016). *Boletín de Estudios Geográficos*. Obtenido de http://www.bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/8806/boletn-estudios-geograficos-106-2016.pdf#page=91
- Caracterización de los movimientos* . (28 de NOVIEMBRE de 2017). Obtenido de www.erosion.com.co > presentaciones > category > 14-libro-deslizamiento.

catanzariti, F. (13 de JUNIO de 2016). *GeoStru*. Obtenido de Estabilidad de taludes:

<https://www.geostru.eu/es/estabilidad-de-taludes/>

Chinchilla, M. S. (s.f.). *FUNDAMENTOS SOBRE DESLIZAMIENTO* . Obtenido de

<http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/conf15.pdf>

CODAZZI, I. G. (12 de NOVIEMBRE de 2019). *¿En qué consiste un levantamiento*

topográfico? Obtenido de <https://www.igac.gov.co/es/contenido/en-que-consiste-un-levantamiento-topografico>

CONSTRUYORED. (13 de OCTUBRE de 2017). *¿Qué causa un deslizamiento de tierra?*

Obtenido de <https://construyored.com/noticias/1806-que-cause-un-deslizamiento-de-tierra>

CONSTRUYORED. (24 de OCTUBRE de 2017). *¿Qué es un levantamiento topográfico?*

Obtenido de <https://construyored.com/noticias/1816-que-es-un-levantamiento-topografico>

CUNDINAMARCA, A. M. (12 de 11 de 2019). *NUESTRO MUNICIPIO ESTÁ*

CAMBIANDO. Obtenido de <http://www.girardot-cundinamarca.gov.co/Paginas/Inicio.aspx>

DIAZ-TORRES, J. J. (2007). *Revista mexicana de ciencias geológicas*. Obtenido de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1026-87742012000300006&lng=es&nrm=iso

EcuRed. (13 de junio de 2019). Obtenido de Geofísica:

<https://www.ecured.cu/Geof%C3%ADsica>

ESFUERZO CORTANTE EN SUELOS. (14 de FEBRERO de 2012). Obtenido de

CAPÍTULO 12: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/13/cap12.pdf>

- Estaire José y Olivenza, G. (2013). *FACTORES DE SEGURIDAD EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES DE ACUERDO CON EL EUROCÓDIGO EC-7 Y EL ANEJO NACIONAL ESPAÑOL*. Obtenido de http://oa.upm.es/29893/1/INVE_MEM_2013_167047.pdf
- eumed.net. (25 de MARZO de 2015). *EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO*. Obtenido de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2011b/967/el%20levantamiento%20topografico%20y%20la%20taquimetria.html>
- frankie. (23 de ENERO de 2013). *ESTUDIOS GEOTECNICOS*. Obtenido de Resistencia al corte de los suelos (3): Resistencia al corte no drenado: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/resistencia-al-corte-de-los-suelos-3-resistencia-al-corte-no-drenado/>
- freáticos, R. d. (17 de ABRIL de 2018). *envirosoil*. Obtenido de Qué es y cómo se detecta el nivel freático: <https://www.envirosoil.es/que-es-y-como-se-detecta-el-nivel-freatico/>
- García, C. D. (8 de ABRIL de 2015). *Metodos de analisis de estabilidad de taludes*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/camilodiaz231/metodos-de-analisis-de-estabilidad-de-taludes>
- Girardot, a. (2012). *ASOCIACIÓN MUNICIPAL DE JUNTAS DE ACCIÓN COMUNAL*. Obtenido de Girardot - Cundinamarca: <http://asojuntasgirardot.com/jac/ub/ubi.html>
- Ignacio. (s.f.). *Presión Intersticial*. Obtenido de Presion del agua en los poros del suelo : <https://www.diccionario.geotecnia.online/diccionario/presion-intersticial/>
- Ing. Remigio Hernández Cevallos. (7 de OCTUBRE de 2016). *Historia de la hidrologia*. Obtenido de Revisión bibliográfica de el uso del agua y sus características: <https://es.slideshare.net/RemigioHernndez/historia-de-la-hidrologia>

Julrosar. (09 de ENERO de 2012). *Trabajo 4 Metodo de Análisis de Estabilidad de Taludes Parte 1.pdf*. Obtenido de [https://es.scribd.com/document/265421253/Trabajo-4-](https://es.scribd.com/document/265421253/Trabajo-4-Metodo-de-Analisis-de-Estabilidad-de-Taludes-Parte-1-pdf)

[Metodo-de-Analisis-de-Estabilidad-de-Taludes-Parte-1-pdf](https://es.scribd.com/document/265421253/Trabajo-4-Metodo-de-Analisis-de-Estabilidad-de-Taludes-Parte-1-pdf)

Kairope. (11 de DICIEMBRE de 2014). *capacidad portante de suelos*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/kairope/capacidad-portante-de-suelos>

krlosco@gmail.com. (2 de ABRIL de 2013). *ESTABILIDAD DE TALUDES*. Obtenido de MARCO TEORICO: <https://estabilidad-de-taludes7.webnode.es/news/marco-teorico/>

libre, W. I. (22 de OCTUBRE de 2019). *Capacidad portante*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Capacidad_portante

libre, W. I. (2 de OCTUBRE de 2019). *Servicio Geológico Colombiano*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Servicio_Geol%C3%B3gico_Colombiano

marcos_ayala_12. (3 de MARZO de 2017). *Clase 3 Respuesta Drenada y No Drenada*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/136767978/Clase-3-Respuesta-Drenada-y-No-Drenada>

Merino, J. P. (2009). *GEOLOGÍA*. Obtenido de Definicion.com : <https://definicion.de/geologia/>

Mexicano, S. G. (22 de MARZO de 2017). *gob.mx*. Obtenido de Geotecnia: [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Geotecnia.htm](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Geotecnia.html)

l

Monge, P. R. (2004 de SEPTIEMBRE de 09). *MECÁNICA DE ROCAS: FUNDAMENTOS E INGENIERIA DE TALUDES*. Obtenido de

http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf

Montoya, S. (2013). *Estabilidad de taludes, deslizamientos de tierra y sus causas*. Obtenido de gidahatari: <http://gidahatari.com/ih-es/estabilidad-de-taludes-deslizamientos-de-tierra-causas>

Oscar, B. V. (14 de ENERO de 2015). *Caracterización de Materiales*. Obtenido de Fuente:

[http://www.segsantander2012.unican.es/sesiones/sesi%C3%B3n%20%20\(2\).html](http://www.segsantander2012.unican.es/sesiones/sesi%C3%B3n%20%20(2).html)

Ozores, A. L. (1 de ABRIL de 2014). *Calculo Fraccionario y Dinamona Newtoniana*.

Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-62662015000200002

Pérez-Gutiérrez, R. (2008). *Análisis de la vulnerabilidad por los deslizamientos en masa, caso: Tlacuitlapa, Guerrero*. Obtenido de

<http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca04/5902/%283%29Perez.pdf>

Pilozo, J. (2019). *Estado de esfuerzos en un punto Esfuerzos principales*. Obtenido de

https://www.academia.edu/7459109/Estado_de_esfuerzos_en_un_punto_Esfuerzos_principales

Quesada, G. J. (11 de 11 de 2019). *SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO* . Obtenido de

<https://www.sgc.gov.co/>

SANABRIA, D. A. (5 de FEBRERO de 2016). *Analisis de distintos procedimientos para el calculo de cargas de undimiento de pilotes* . Obtenido de

http://oa.upm.es/39573/1/Tesis_master_Deiby_Camargo_Sanabria.pdf

SANDRA. (14 de MARZO de 2019). *encolombia*. Obtenido de Turismo en Girardot:

<https://encolombia.com/turismo/destinos-turisticos/destinos-colombianos/cundinamarca/girardot/>

SANHUEZA PLAZA, C., & L., R. C. (1 de JUNIO de 2013). *Analisis comparativo de metodos de calculo de estanbilidad de estaludes finitos aplicados a laderas naturales*.

Obtenido de Revista de la Construcción:

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2013000100003

Sfriso, A. O. (12 de ABRIL de 2016). *Mecánica de Suelos y Geología*. Obtenido de Ensayo

SPT: <http://materias.fi.uba.ar/6408/301%20Ensayo%20SPT.pdf>

Swd, M. (17 de OCTUBRE de 2015). *Tema 1 Esfuerzos Totales y Efectivos*. Obtenido de

<https://es.scribd.com/doc/91762919/Tema-1-Esfuerzos-Totales-y-Efectivos>

TRAMITES, S. U. (s.f.). *Programa de mejoramiento de vivienda en Girardot*. Obtenido de

<https://www.funcionpublica.gov.co/documents/28586175/34789384/27235.pdf/c13ad>

[1b0-566f-4f3b-3719-00a3c7baaa0d?version=1.0&t=1541092262489](https://www.funcionpublica.gov.co/documents/28586175/34789384/27235.pdf/c13ad1b0-566f-4f3b-3719-00a3c7baaa0d?version=1.0&t=1541092262489)

Wikipedia la enciclopedia libre . (5 de OCTUBRE de 2019). Obtenido de Deslizamiento:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Deslizamiento>

ANEXOS

REGISTRO FOTOGRAFICO	DIRECCION	NO DE VIVIENDA
	Calle #11	Vivienda de tipo especial ya que su propietario informa que alcanos no realiza instalación de su servicio, alto riesgo.
	Calle #9	Podemos observar la inclinación de la vía la cual se analiza con el esfuerzo mecánico que ejercen los automóviles para subir.

	Carrera #1 b	Vivienda con problemas en la estructura del suelo, se observa agrietamientos y abullonamientos
	Carrera #1	Casa esquinera desalojada por problemas estructurales, alto riesgo al colapso



Carrera 2 a

Inicio de barrio parte mas alta, el modelo de construcción es particular esta construida de forma ascendente por secciones de diferentes niveles



Problemas de humedades en estructuras y fachadas de la vivienda.

	Orillas del rio magdalena	Actividad dedicada a la pesca artesanal por parte de la comunidad ya sea de manera de negocio o subsistir.
	Carrera 1 b	Se identifica apique #1 y apique #2

	Calle12	Se observa muy mal estado del muro de contención ,lote baldío desalojado
	Orillas del rio magdalena	Vivienda en alto riesgo al colapso,

	Calle 12	Muro de contención que la parte frontal colapso y su parte lateral está a punto de colapsar.
	Calle 12 esquina	Vivienda con presencia de humedad en el terreno y parte estructural de la misma.

	Calle 12	Muros laterales y frontales con ausencia de estructuras reforzadas como vigas u columnas.
	Calle 12	Analizamos el problema directamente en los postes ya que el terreno esta en movimiento evidenciado ya que los postes están inclinado hacia la parte de abajo

	Calle 9a	Se observa árbol totalmente inclinado con la fuerza de empuje ejercida por el talud en movimiento al árbol hacia la parte de abajo
	Carrera 1a	Poste inclinado evidencia en la mayoría de los postes.









1. levantamiento topografico

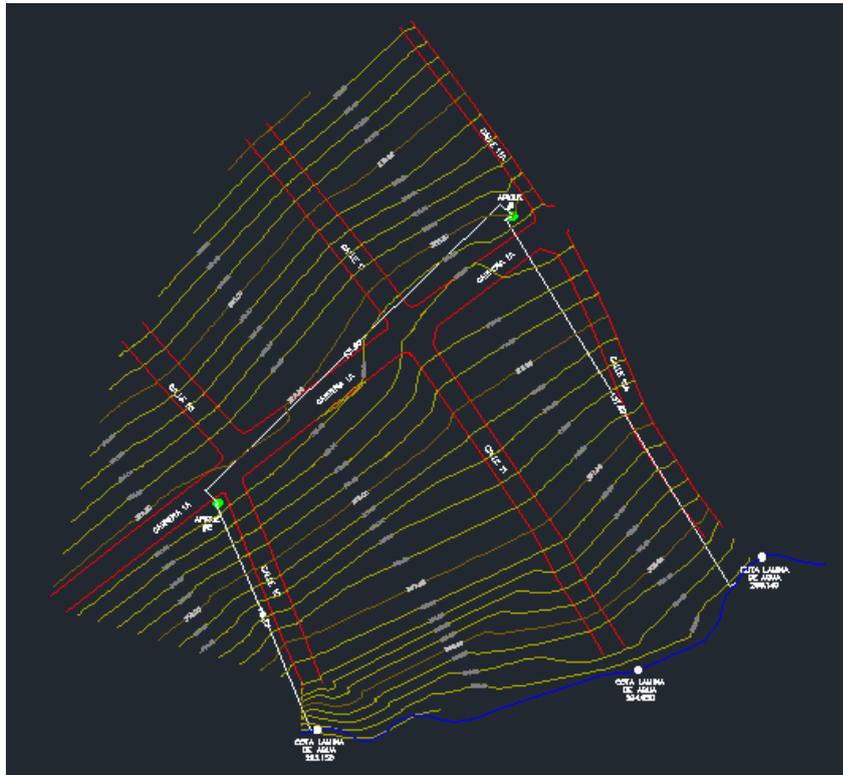


Ilustración 23 determina directamente el desnivel entre los dos sondeos realizados con referencia a un plano horizontal de diferencia o al nivel medio del mar.

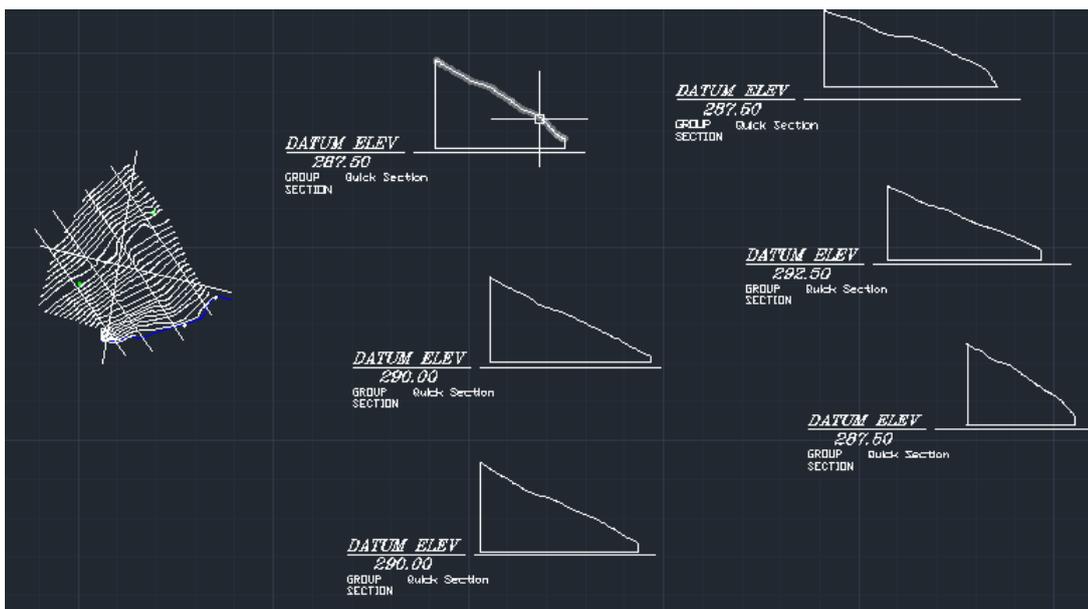
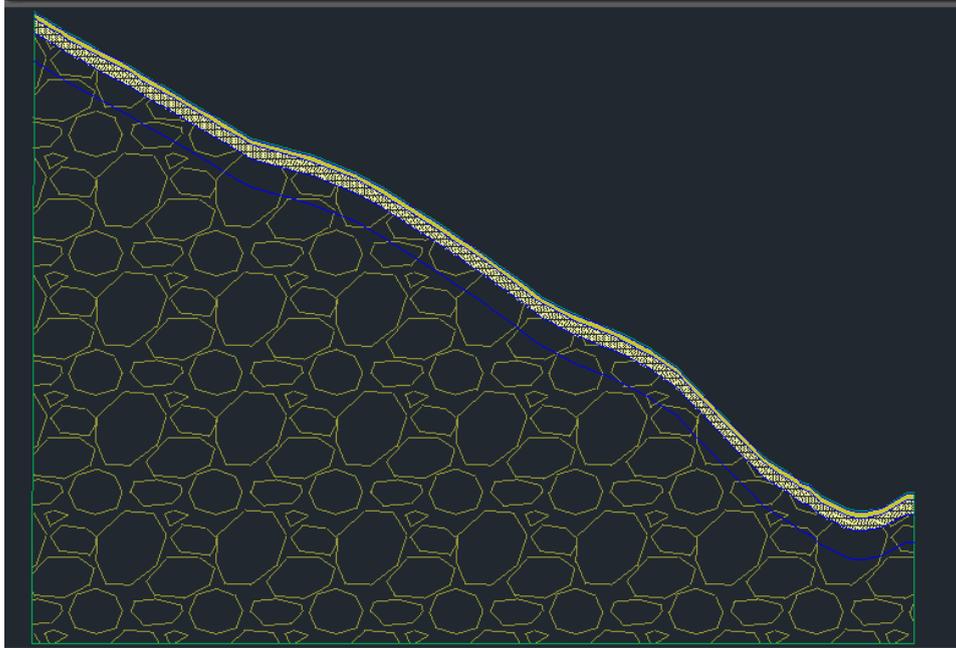
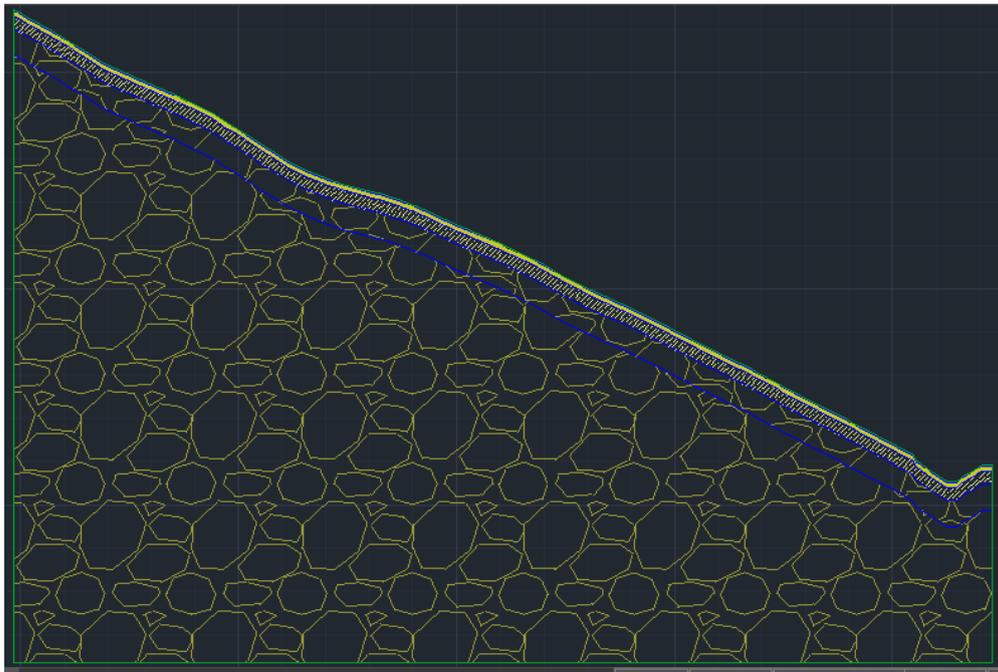


Ilustración 24 secciones de taludes con curvas de nivel

2. seccion de taludes

*Ilustración 25 talud sección (1)**Ilustración 26 talud sección (2)*

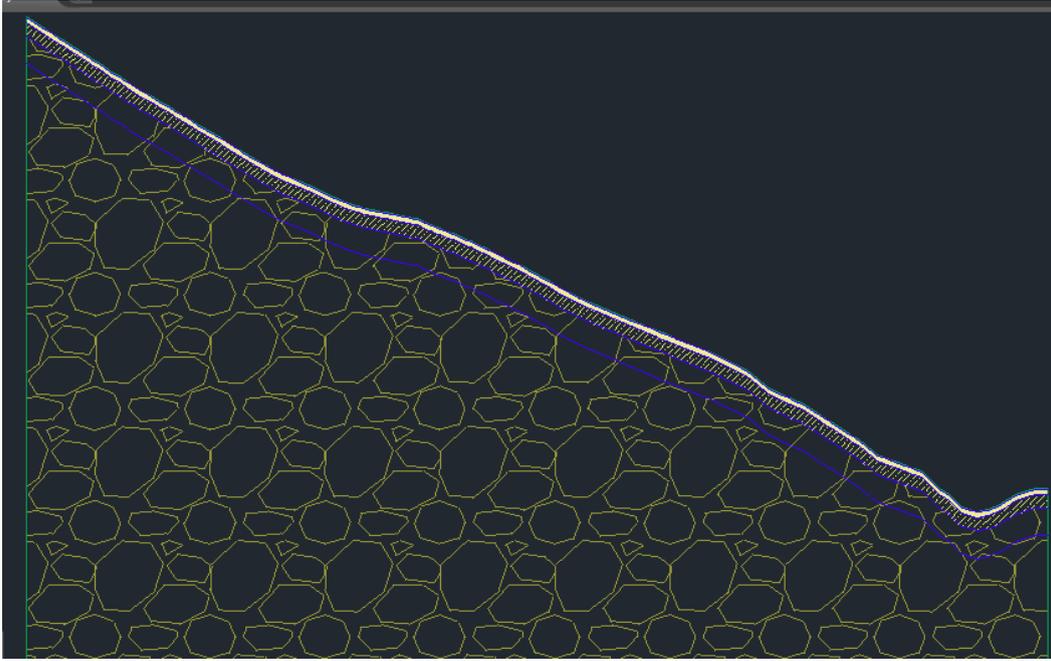


Ilustración 27 talud sección (3)

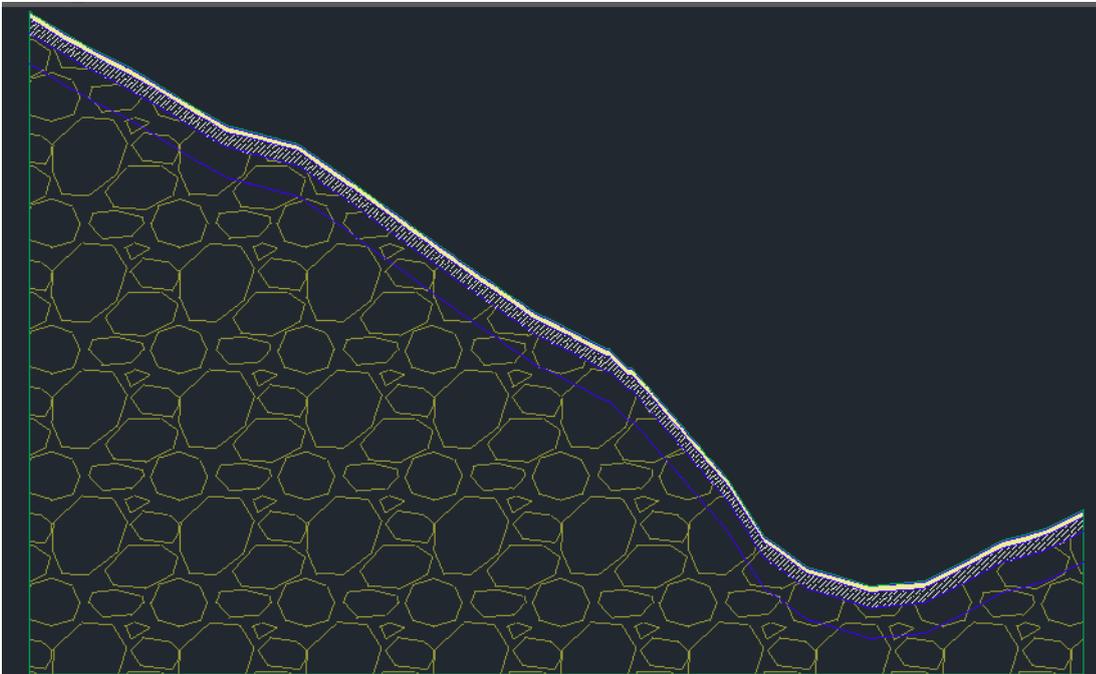


Ilustración 28 talud sección (4)

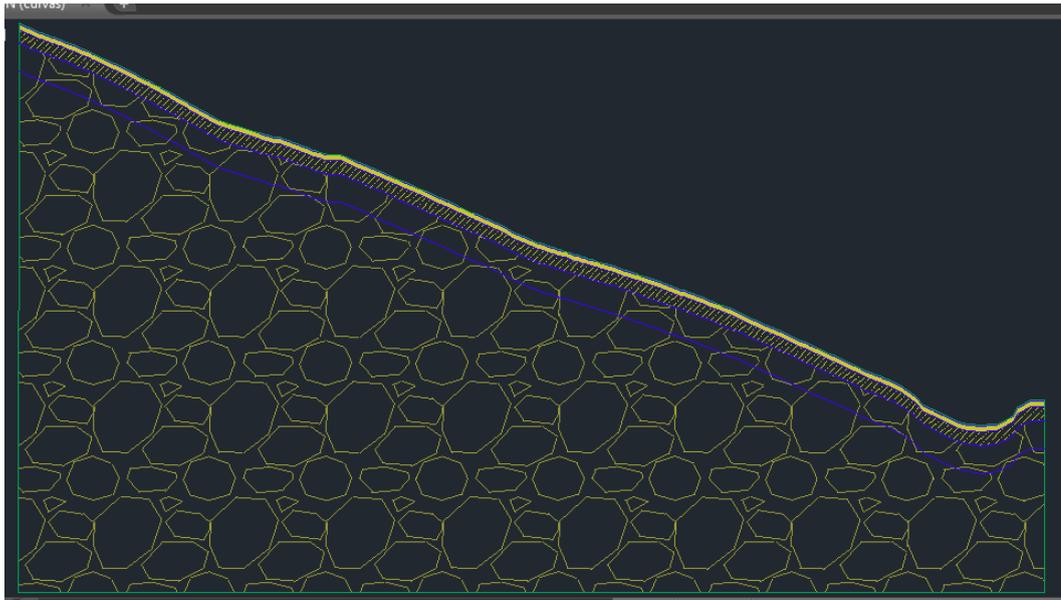


Ilustración 29 taludes sección (5)

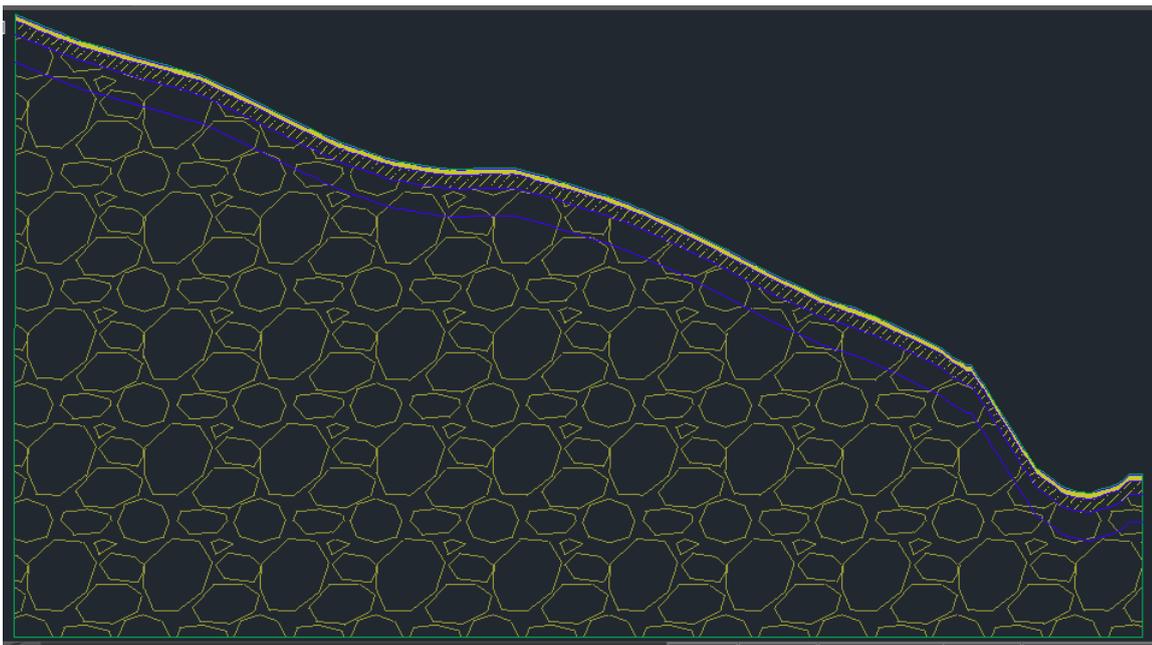


Ilustración 30 talud sección (6)

3. slide

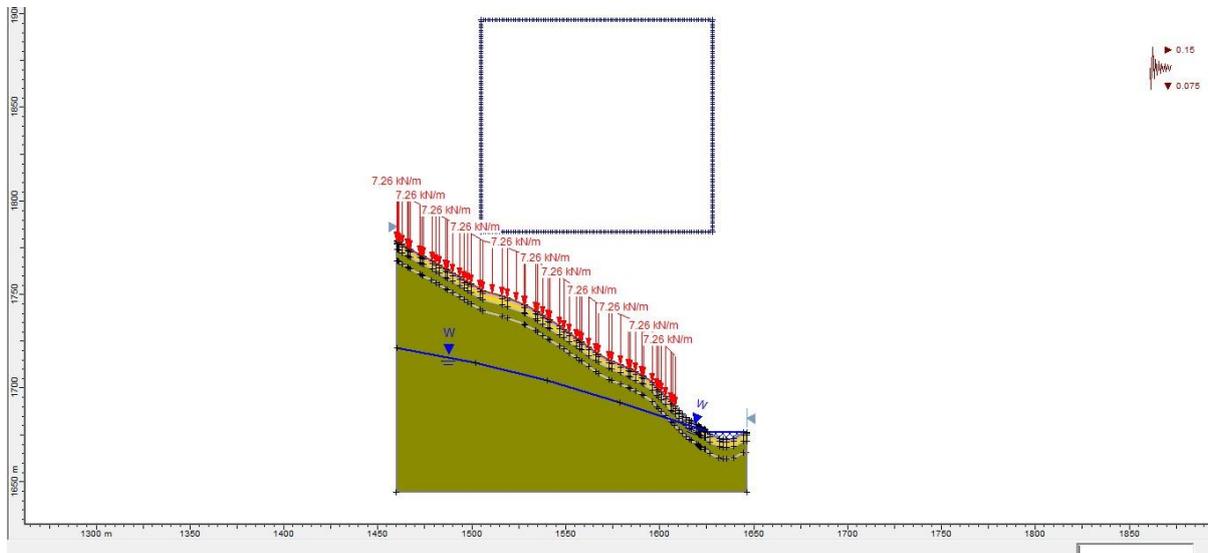


Ilustración 31 Cuadrícula de centro de desplazamiento creada con Auto Grid sección (1)

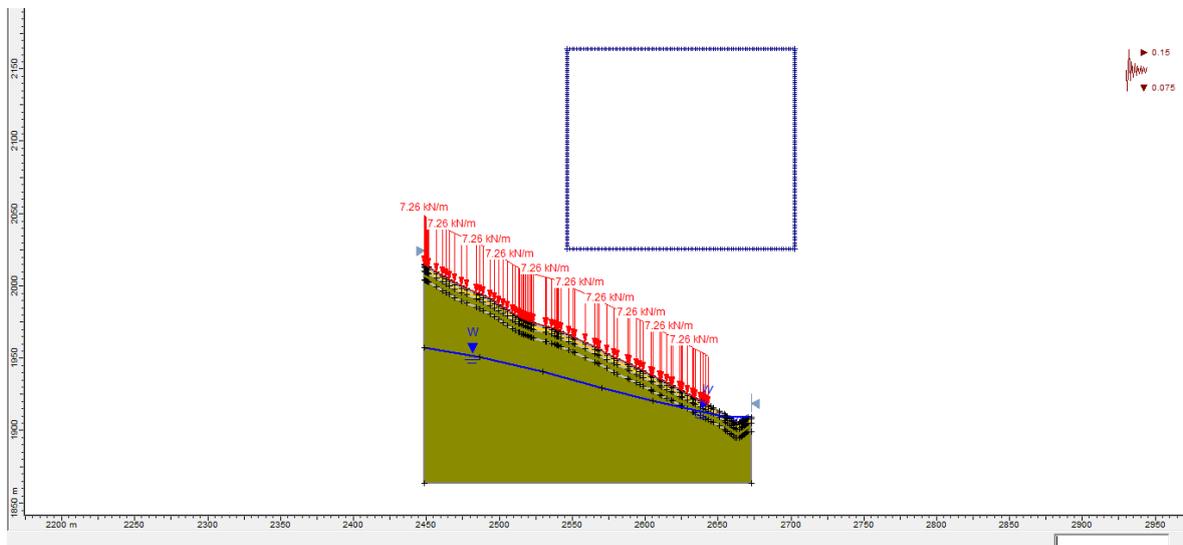


Ilustración 32 Cuadrícula de centro de desplazamiento creada con Auto Grid sección (2)

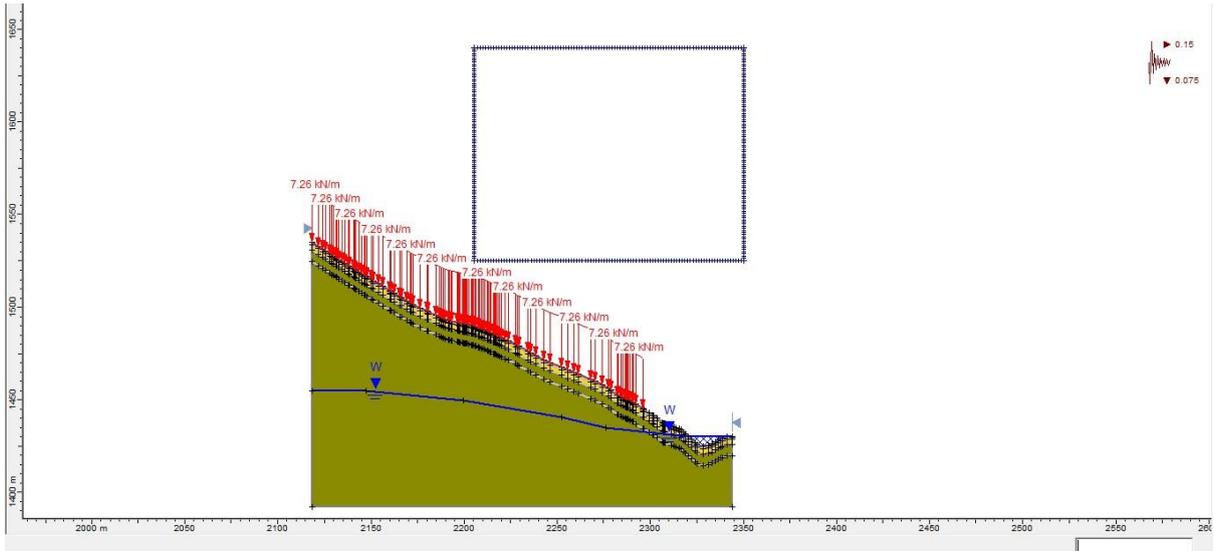


Ilustración 33 Cuadrícula de centro de desplazamiento creada con Auto Grid sección (3)

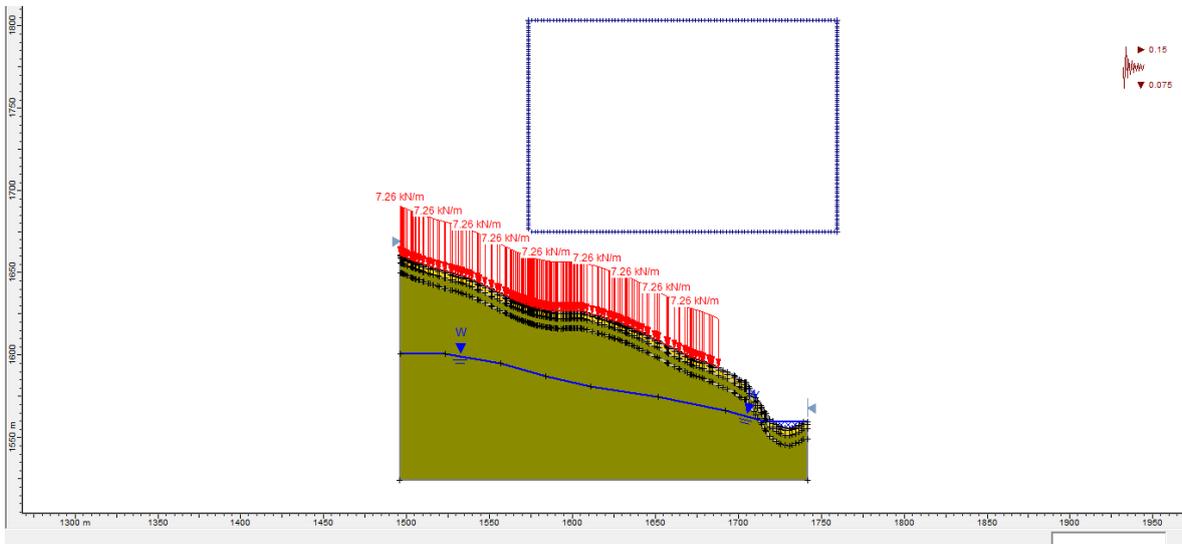


Ilustración 34 Cuadrícula de centro de desplazamiento creada con Auto Grid sección (4)

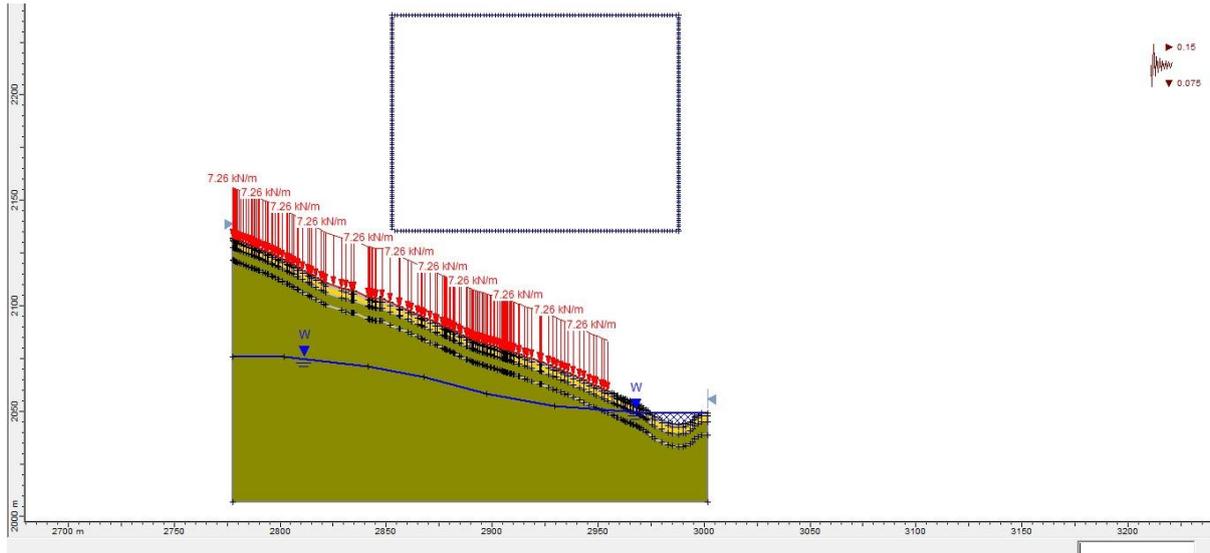


Ilustración 35 Cuadrícula de centro de desplazamiento creada con Auto Grid sección (5)

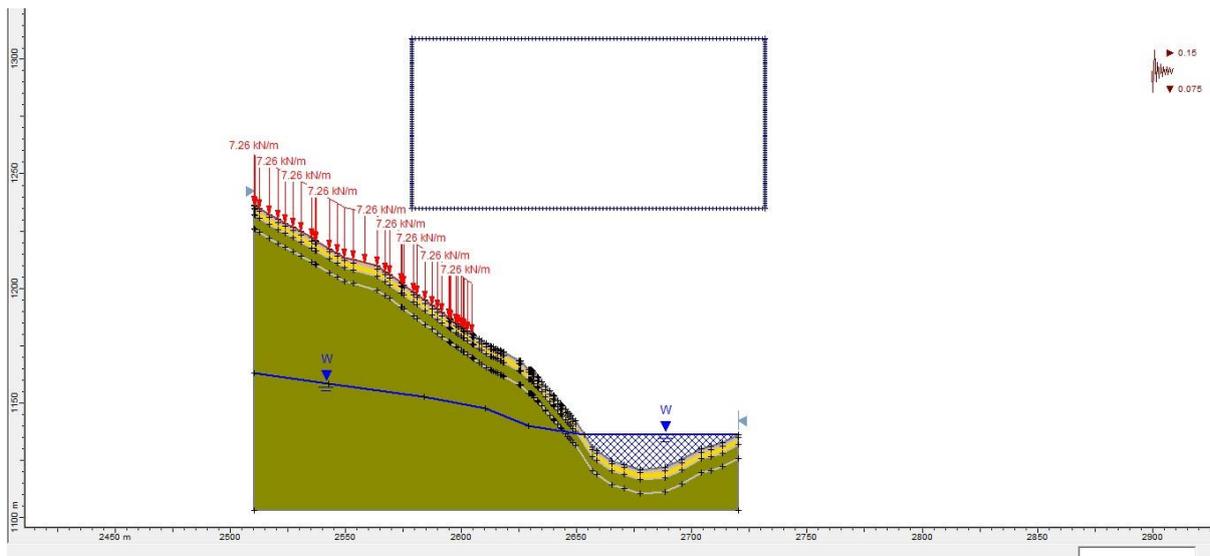


Ilustración 36 Cuadrícula de centro de desplazamiento creada con Auto Grid sección (6)

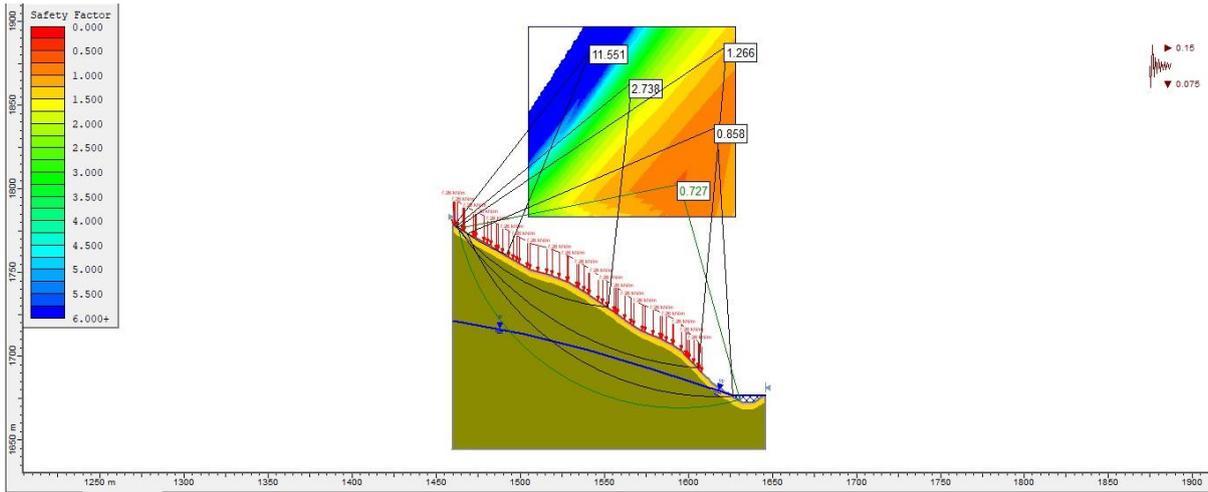


Ilustración 37 Búsqueda de superficie circular – todas las superficies mostradas, sección (1)

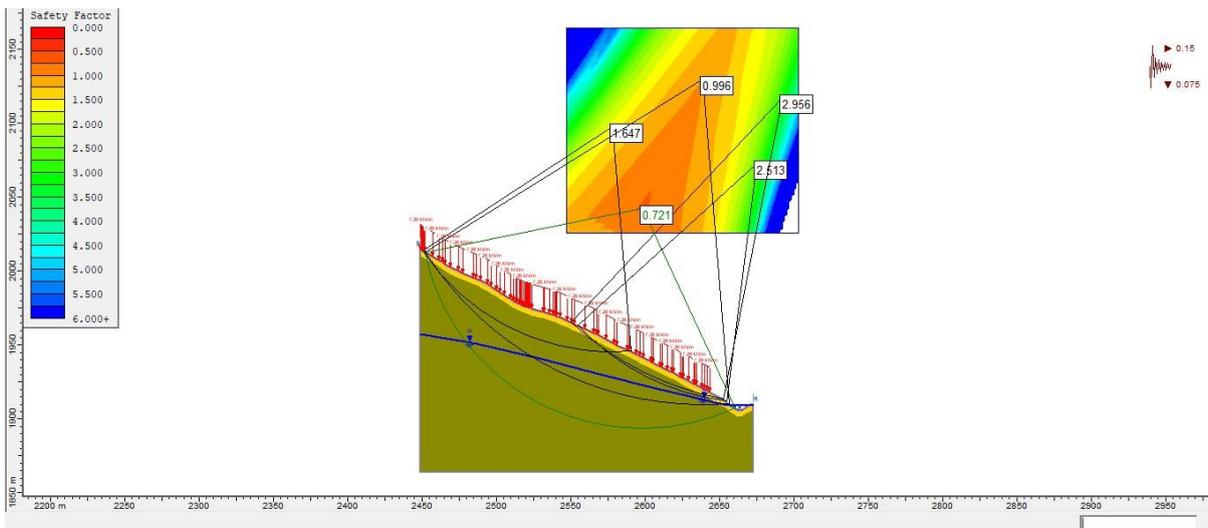


Ilustración 38 Búsqueda de superficie circular – todas las superficies mostradas, sección (2)

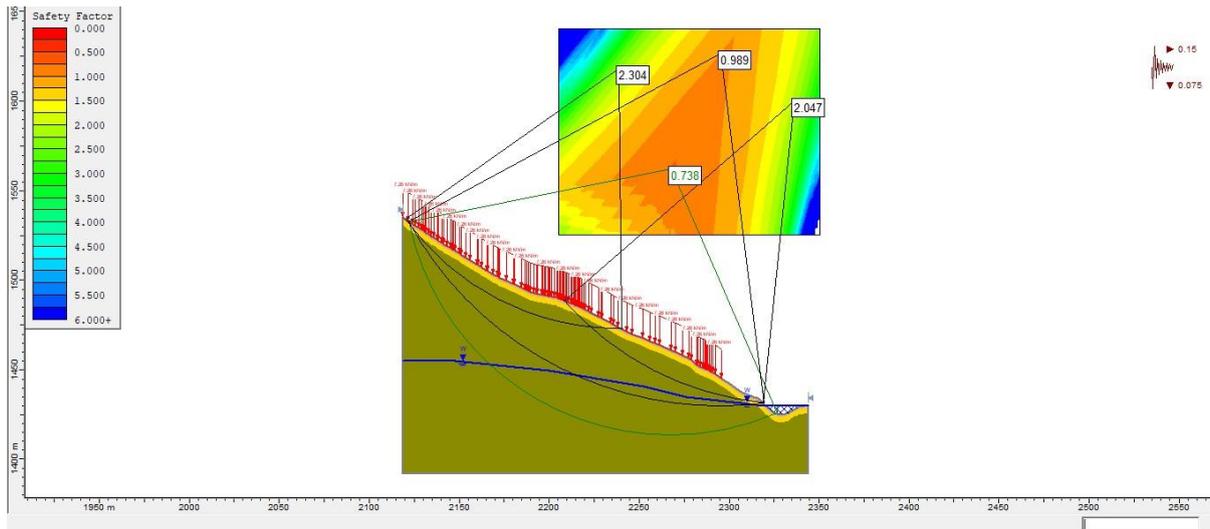


Ilustración 39 Búsqueda de superficie circular – todas las superficies mostradas, sección (3)

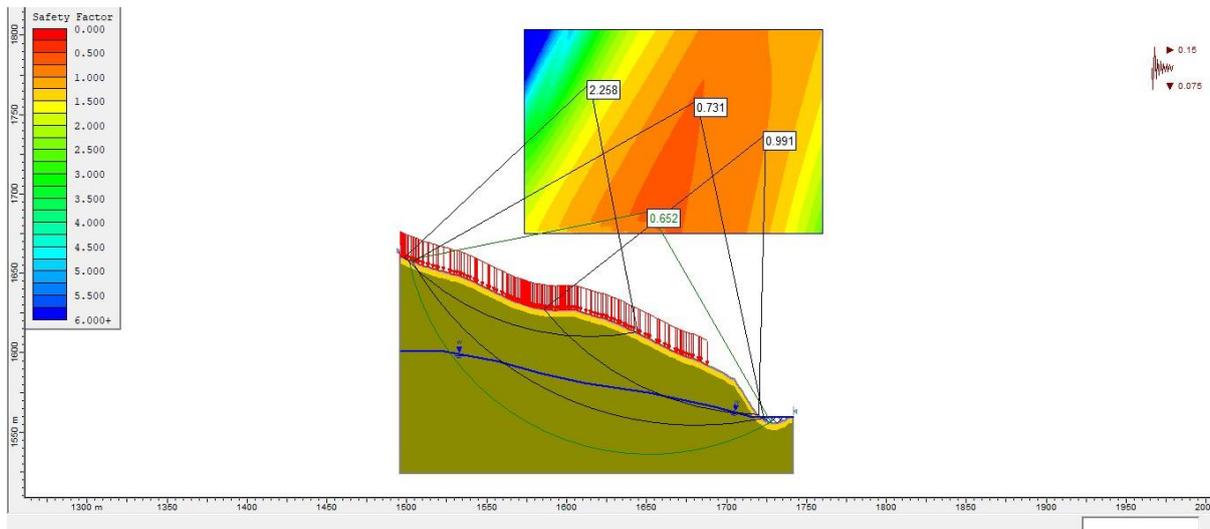


Ilustración 40 Búsqueda de superficie circular – todas las superficies mostradas, sección (4)

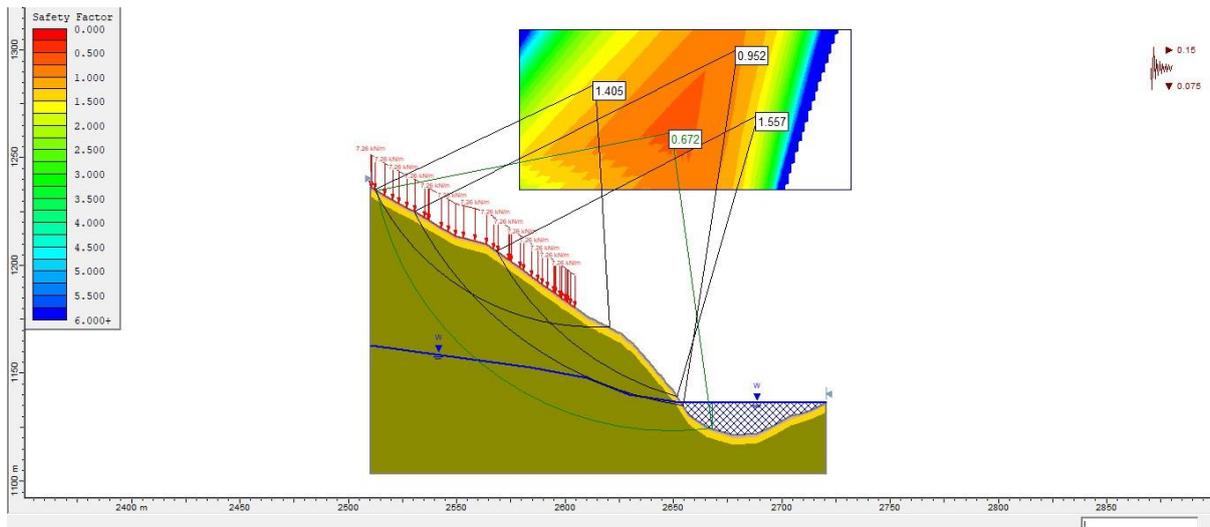


Ilustración 41 Búsqueda de superficie circular – todas las superficies mostradas, sección (5)

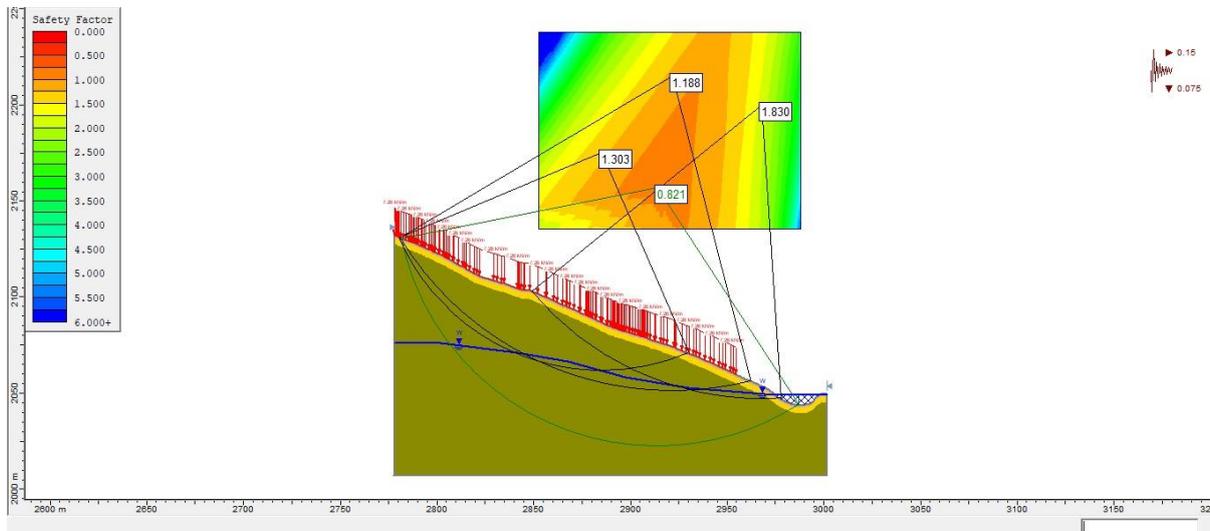


Ilustración 42 Búsqueda de superficie circular – todas las superficies mostradas, sección (6)

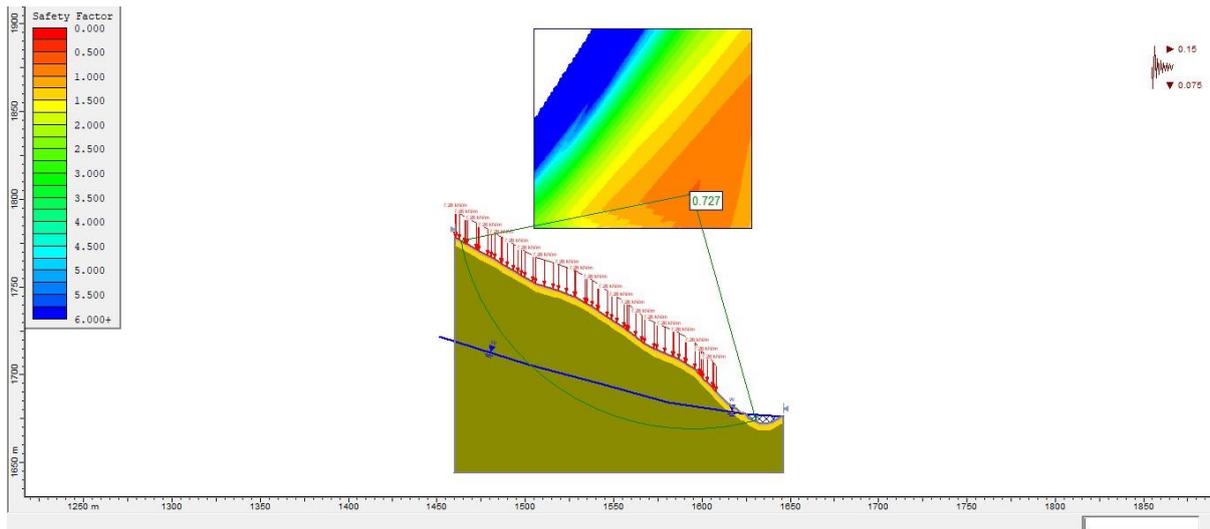


Ilustración 43 Búsqueda de superficie circular – Superficies mínimas mostradas, sección (1)

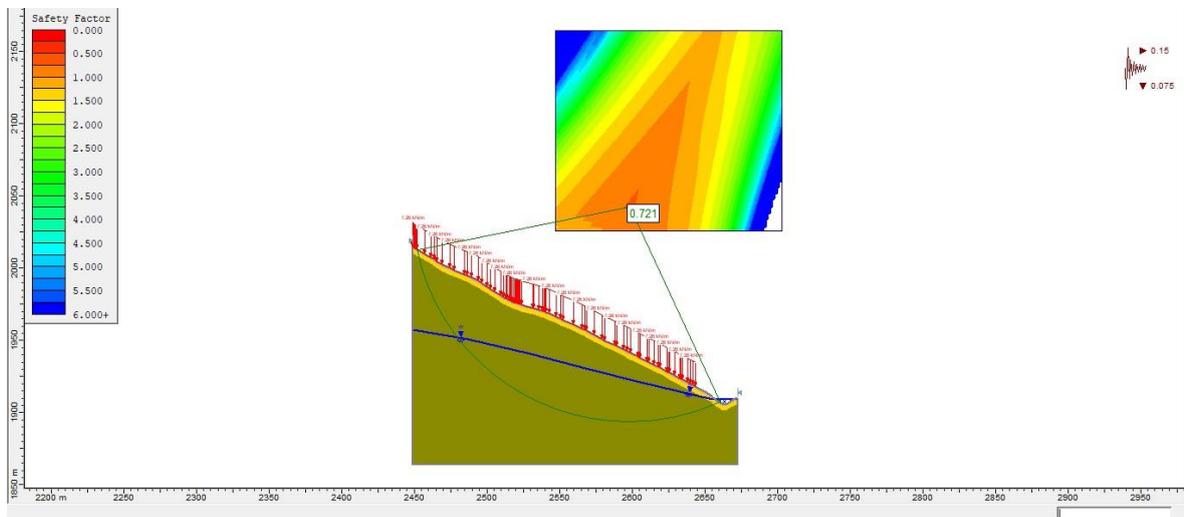


Ilustración 44 Búsqueda de superficie circular – Superficies mínimas mostradas, sección (2)

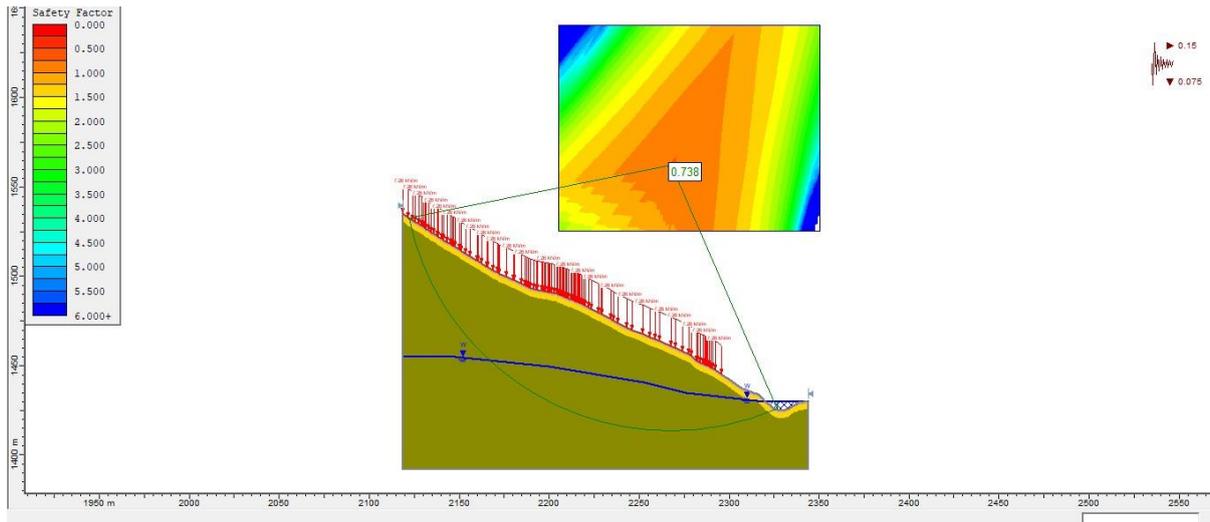


Ilustración 45 Búsqueda de superficie circular – Superficies mínimas mostradas, sección (3)

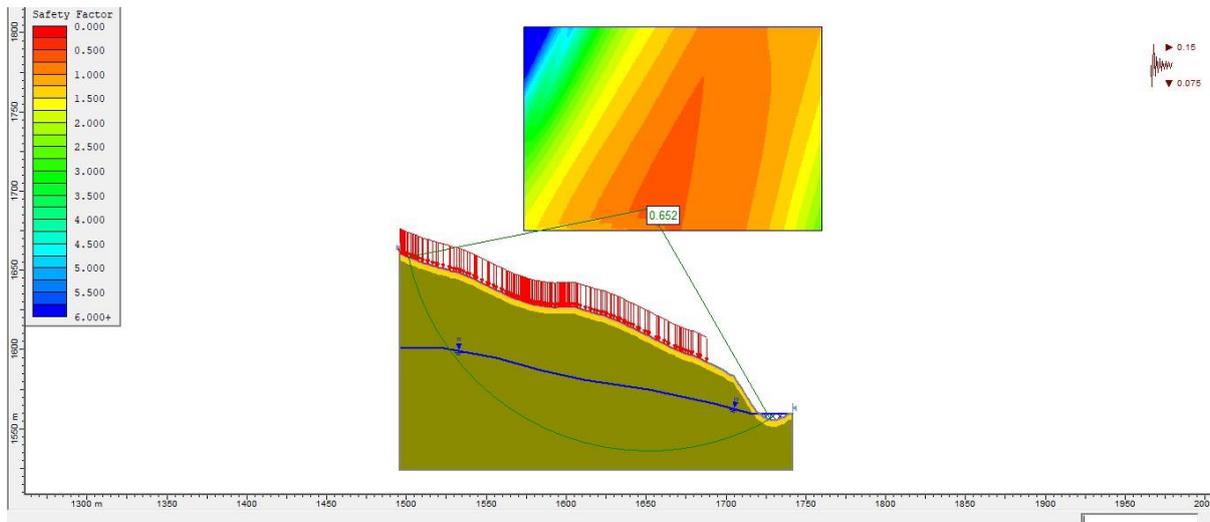


Ilustración 46 Búsqueda de superficie circular – Superficies mínimas mostradas, sección (4)

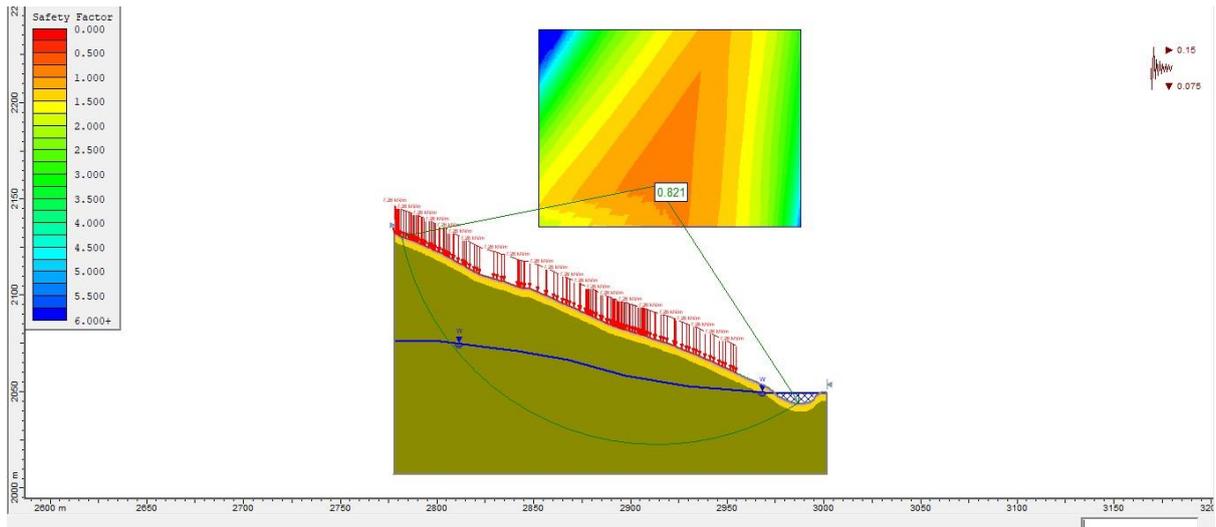


Ilustración 47 Búsqueda de superficie circular – Superficies mínimas mostradas, sección (5)

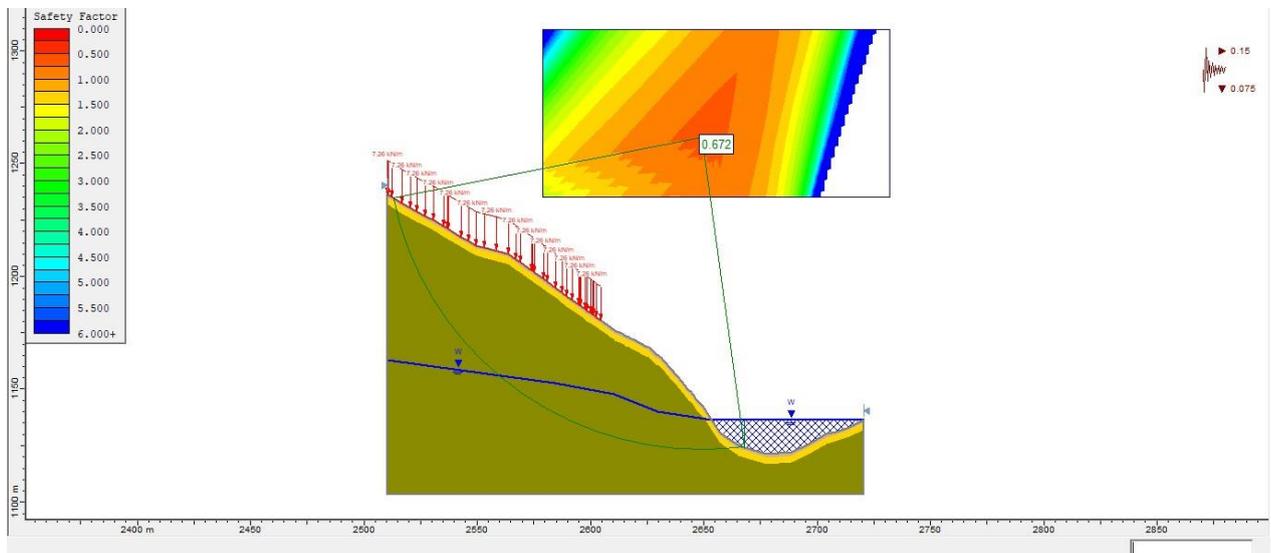


Ilustración 48 Búsqueda de superficie circular – Superficies mínimas mostradas, sección (6)

4. Capacidad portante

CAPACIDAD PORTANTE			
ECUACIONES PLANTEADAS	SECCION	ECUACION	CAPACIDAD PORTANTE
$q_u = \frac{(\phi(\phi\phi))}{3} * \phi$ <hr/> $\phi = \sqrt{(0,15)^2 + (1 - \frac{0,075}{2})}$	1	$q_u = \frac{(\phi^{(2,84)})}{3} * 0,99$	2,40
	2	$q_u = \frac{(\phi^{(3,26)})}{3} * 0,99$	2,76

