

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
USFQ**

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Caracterización de Taludes en la Av. Simón Bolívar

Proyecto técnico

Eduardo Colón Tumbaco Yalamá

Ingeniería Civil

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Civil

Quito, 21 de diciembre del 2017

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERIAS**

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Caracterización de Taludes en la Av. Simón Bolívar

Eduardo Colón Tumbaco Yalamá

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Jorge Valverde, Master of Science in
Engineering, Geotechnical
Engineering

Firma del profesor

Quito, 21 de diciembre del 2017

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Eduardo Colón Tumbaco Yalamá

Código: 00113683

Cédula de Identidad: 171816519-2

Lugar y fecha: Quito, 20 de diciembre del 2017

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Colón Tumbaco e Ismaelina Yalamá quienes supieron guiarme a lo largo de mi vida. A mis hermanos Roberto, Freddy y José Antonio que con su apoyo pude llegar hasta aquí. A mi compañera, Gabriela Noguera que estuvo conmigo en todas mis caídas y supo cómo levantarme. Y una dedicatoria muy especial a mi abuelita que fue mi pilar para seguir desenvolviéndome como persona y como profesional, sé que ella me cuida desde el cielo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Universidad y a los profesores de ingeniería civil, de manera muy especial a Jorge Valverde, que me impartieron su conocimiento para ser la base de mi carrera profesional. A mis padres que con su esfuerzo y sus consejos me motivaban para seguir mi camino. A mi novia Gabriela que sostuvo mi mano en este tiempo y espero que siga apoyándome en el camino que me falta por recorrer. A mis hermanos que siempre me han escuchado y me han ayudado cuando en verdad lo necesitaba. Y a mis grandes amigos Marcos Terán y Nathalia Ortega quienes estuvieron cuando los necesite. A cada uno de ustedes, les agradezco de todo corazón.

RESUMEN

En este trabajo de titulación, se realizó una caracterización de los taludes dependiendo de su altura y se basó en un plano de falla plano. Se buscó utilizar los conceptos básicos como lo son la clasificación de los movimientos, factores que afecten el comportamiento de los taludes, acción del agua y la resistencia del suelo en la zona de estudio. Estos conceptos básicos serán el punto de partida para el estudio. Se realizó un análisis de estabilidad utilizando el método de equilibrio limite más específicamente el talud finito con el método de Cullman, con diversas condiciones de esfuerzos como sismo, fuerza hidrostática. Y la relación que existe entre la cohesión y ángulo de fricción interna respecto a la altura.

Palabras clave: Suelo, esfuerzos, acción del agua, geología, pendiente, rotura por cuña, ángulo de fricción geología, interna, cohesión, factor de seguridad.

ABSTRAC

In this degree work, a characterization of the slopes was made depending on their height and based on a specific fault plane. It is sought to use the basic concepts such as the classification of the movements, factors that affect the behavior of the slope, the action of the water and the soil resistance in the study area. These basic concepts will be the starting point for the study. It was realized, a stability analysis using the method of limit equilibrium method, and more specially the finite slope with the Cullman's method, with various stress conditions such as earthquake and hydrostatic force. A relationship that exists between the cohesion and angle of internal friction with respect to height it is proposed.

Key words: Soil, stress, water action, geology, slope, wedge breakage, internal friction angle, hydrology, cohesion, safety factor.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	13
1.1	Antecedentes.....	13
1.2	Justificación.....	13
1.3	Objetivo General.....	14
1.4	Objetivos Específicos.....	14
2	DESARROLLO DEL TEMA	15
2.1	Sinopsis De Conceptos Básicos Utilizados Para Taludes.....	15
2.1.1	Talud y Deslizamientos.....	15
2.1.2	Clasificación De Los Movimientos.....	17
2.1.3	Factores Que Afectan En El Comportamiento De Los Taludes.....	19
2.1.4	Resistencia Del Suelo.....	24
2.1.5	Mecanismos De Falla.....	28
2.1.6	Acción Del Agua.....	32
2.2	Investigación De La Zona De Estudio.....	36
2.2.1	Identificación De La Zona.....	36
2.2.2	Datos Geológicos De La Zona.....	38
2.2.3	Datos Hidrológicos De La Zona.....	40
2.3	Cálculos Realizados.....	43
2.3.1	Metodología.....	43
2.3.2	Resumen De Cálculos Realizados.....	51
2.3.3	Relaciones De Angulo Interno Y Alturas De Taludes Con La Cohesión.....	70
3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
5	ANEXO A: RESULTADOS DE TALUDES.....	82
6	ANEXO B: RESULTADOS DE RELACIONES PHI VS. COHESIONES SEGÚN LA ALTURA.....	94
6.1	Alturas Totales.....	94
6.2	Altura Ha.....	98

Índice de Formulas Utilizadas

Ecuación 1 Calculo Área 1	45
Ecuación 2 Calculo Área 2	45
Ecuación 3 Calculo Área Total.....	45
Ecuación 4 Volumen Talud	45
Ecuación 5 Fuerza debido a la Masa del Talud en Newton.....	46
Ecuación 6 Fuerza Normal del Peso.....	46
Ecuación 7 Fuerza Cortante del Peso	46
Ecuación 8 Esfuerzo Normal Para El Peso.....	46
Ecuación 9 Esfuerzo Cortante Para El Peso	46
Ecuación 10 Esfuerzo Resistente Promedio	47
Ecuación 11 Factor de Seguridad	47
Ecuación 12 Fuerza debido al sismo	48
Ecuación 13 Fuerza Normal del sismo	48
Ecuación 14 Fuerza Cortante del sismo	48
Ecuación 15 Esfuerzo Normal Para el peso más sismo.....	48
Ecuación 16 Esfuerzo Cortante Para el Peso más sismo	49
Ecuación 17 Fuerza hidrostática.....	49
Ecuación 18 Fuerza normal hidrostática	50
Ecuación 19 Fuerza cortante hidrostática.....	50
Ecuación 20 Esfuerzo Normal Para el peso más hidrostática	50
Ecuación 21 Esfuerzo Cortante Para el Peso más hidrostática.....	50
Ecuación 22 Esfuerzo Normal para todos los casos anteriores	51
Ecuación 23 Esfuerzo Cortante para todos los casos anteriores.....	51

Índice de Gráficos

Ilustración 1 Zona de Estudio (Longitud), (Google Maps, 2017)	36
Ilustración 2: Elevación de la Zona de Estudio (Google Maps, 2017).....	37
Ilustración 3 Mapa de ubicación de los taludes	38
Ilustración 4 Zonificación de la Ciudad de Quito (The Quito, Ecuador, Earthquake Risk Management Project, 1994).....	39
Ilustración 5 Perfil Geológico de la Zona de Estudio (Microzonificación Sísmica de los Suelos Del Distrito Metropolitano de la Ciudad de Quito)	39
Ilustración 6 Precipitación del 2012 (Inamhi, 2012)	40
Ilustración 7 Precipitación media anual 2013 (Inamhi, 2013).....	41
Ilustración 8 Precipitación anual e histórica. (MAGAP, 2015).....	41
Ilustración 9 Meses de precipitación Máximas en 24 horas. Semestre enero-junio 2016, región Interandina. (Inamhi, 2016).....	42
Ilustración 10 Gráfica del modelo utilizado	43
Ilustración 11 Gráfica de las áreas del modelo.....	45
Ilustración 12 Gráfica modelo del peso	46
Ilustración 13 Gráfica modelo del peso más sismo	48
Ilustración 14 Gráfica modelo del peso más fuerza hidrostática.....	49
Ilustración 15 Gráfica modelo del peso más sismo más fuerza hidrostática.....	51
Ilustración 16 Superficie de falla Talud 1	52
Ilustración 17 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 1.....	53
Ilustración 18 Superficie de falla Talud 2	53
Ilustración 19 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 2.....	54
Ilustración 20 Superficie de falla Talud 3	55
Ilustración 21 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 3.....	56
Ilustración 22 Superficie de falla Talud 4	56
Ilustración 23 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 4.....	57
Ilustración 24 Superficie de falla Talud 5	58
Ilustración 25 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 5.....	59
Ilustración 26 Superficie de falla Talud 6	59
Ilustración 27 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 6.....	60
Ilustración 28 Superficie de falla Talud 7	61
Ilustración 29 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 7.....	62
Ilustración 30 Superficie de falla Talud 8	62
Ilustración 31 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 8.....	63
Ilustración 32 Superficie de falla Talud 9	64
Ilustración 33 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 9.....	65
Ilustración 34 Superficie de falla Talud 10	65
Ilustración 35 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 10.....	66
Ilustración 36 Superficie de falla Talud 11	67
Ilustración 37 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 11.....	68
Ilustración 38 Superficie de falla Talud 12	68
Ilustración 39 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 12.....	69
Ilustración 40 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso	70
Ilustración 41 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más sismo	71
Ilustración 42 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más hidrostática	72
Ilustración 43 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más sismo más hidrostática	73

Ilustración 44 Clasificación por alturas Ha y Cohesión dada por el peso.	74
Ilustración 45 Clasificación por alturas Ha y Cohesión dada por el peso más sismo. ..	75
Ilustración 46 Clasificación por alturas Ha y Cohesión dada por el peso más hidrostática.	76
Ilustración 47 Clasificación por alturas Ha y Cohesión dada por el peso más sismo más hidrostática.	77

Índice Tablas

Tabla 1 Ubicación de los taludes.....	37
Tabla 2 Datos Del Iniciales Talud 1.....	52
Tabla 3 Datos Iniciales Del Talud 2.....	54
Tabla 4 Datos Iniciales Del Talud 3.....	55
Tabla 5 Datos Iniciales Del Talud 4.....	57
Tabla 6 Datos Iniciales Del Talud 5.....	58
Tabla 7 Datos Iniciales Del Talud 6.....	60
Tabla 8 Datos Iniciales Del Talud 7.....	61
Tabla 9 Datos Iniciales Del Talud 8.....	63
Tabla 10 Datos Iniciales Del Talud 9.....	64
Tabla 11 Datos Iniciales Del Talud 10.....	66
Tabla 12 Datos Iniciales Del Talud 11.....	67
Tabla 13 Datos Iniciales Del Talud 12.....	69
Tabla 14 Resultados Obtenidos Talud 1.....	82
Tabla 15 Resultados Obtenidos Talud 2.....	83
Tabla 16 Resultados Obtenidos Talud 3.....	84
Tabla 17 Resultados Obtenidos Talud 4.....	85
Tabla 18 Resultados Obtenidos Talud 5.....	86
Tabla 19 Resultados Obtenidos Talud 6.....	87
Tabla 20 Resultados Obtenidos Talud 7.....	88
Tabla 21 Resultados Obtenidos Talud 8.....	89
Tabla 22 Resultados Obtenidos Talud 9.....	90
Tabla 23 Resultados Obtenidos Talud 10.....	91
Tabla 24 Resultados Obtenidos Talud 11.....	92
Tabla 25 Resultados Obtenidos Talud 12.....	93
Tabla 26 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso	94
Tabla 27 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más sismo.....	95
Tabla 28 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más hidrostática	96
Tabla 29 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más sismo más hidrostática	97
Tabla 30 Clasificación por alturas Ha y Cohesión dada por el peso	98
Tabla 31 Clasificación por alturas Ha y Cohesión dada por el peso más sismo	99
Tabla 32 Clasificación por alturas Ha y Cohesión dada por el peso más hidrostática .	100
Tabla 33 Clasificación por alturas Ha y Cohesión dada por el peso más sismo más hidrostática	101

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 Antecedentes.

En Quito, los deslizamientos son comunes principalmente en las épocas lluviosas que azotan a la capital del Ecuador en los meses de invierno. El presente año, 2017, desencadenó varios deslizamientos principalmente en las vías periféricas de la ciudad. Una de estas vías es la avenida Simón Bolívar, por lo cual es la zona de estudio y se escogió uno de los tramos que han presentado mayor número de deslizamientos. Este tramo está ubicado en el sentido norte-sur desde el denominado redondel del ciclista hasta la Estación de Transferencia Norte EMGIRS-EP; por lo que es fundamental saber qué factores y que mecanismos de falla tienen los taludes. Se destaca que en este sentido se encuentra el parque Metropolitano que tiene una gran extensión y es uno de los parques más grandes de la capital ecuatoriana.

Se realizó el estudio en el tramo antes mencionado debido a su utilidad, y es muy importante para la movilidad de los capitalinos; los deslizamientos en esta avenida han creado varios atascos y cierres de vías que provocan molestias en la ciudadanía. En el estudio se encuentra que en el tramo hay doce deslizamientos que pueden desencadenar eventos de mayor magnitud.

1.2 Justificación.

Los deslizamientos provocados en esta vía que es muy importante a causa de que es utilizada para comunicar varios sectores del norte de la ciudad como también comunicar; por lo cual su obstaculización puede provocar grandes pérdidas a todos los usuarios de esta vía. Uno de los deslizamientos que provocó un cierre vial significativo fue el deslizamiento que se encuentra a la altura del Camposanto Monte Olivo y su consecuencia como lo redacta el diario EL Comercio: “Un deslizamiento de tierra

bloqueó los carriles de circulación de norte a sur en la avenida Simón Bolívar, desde las 16:20 de este martes 16 de mayo del 2017” (García, 2017). Este percance afectó a muchos transeúntes que se desplazaban para el valle de Tumbaco. Luego de este incidente la gente que se dirigía para este valle no pudo hacerlo. Por lo cual es de vital importancia mejorar la estabilidad de los taludes en el sentido norte-sur de la vía. Dada la utilidad que tiene esta vía.

1.3 Objetivo General.

Realizar una caracterización mecánica de los mecanismos de falla de taludes en un tramo de la avenida Simón Bolívar basada en las propiedades geológicas y mecánicas.

1.4 Objetivos Específicos.

Realizar una sinopsis de los conceptos básicos utilizados para taludes. Como son: la clasificación de movimientos, los factores que afectan en el comportamiento, resistencia, mecanismos de falla, acción del agua.

Enfocarse en los mecanismos de falla observados en dichos taludes haciendo referencia a los más comunes en la zona de estudio.

Se realizará un análisis de estabilidad utilizando el método de equilibrio límite de Cullman, que utiliza la falla del talud en un plano de falla.

Encontrar correlaciones entre los parámetros mecánicos de los suelos, requeridas para producir la falla de los taludes

2 DESARROLLO DEL TEMA.

2.1 Sinopsis De Conceptos Básicos Utilizados Para Taludes.

2.1.1 Talud y Deslizamientos.

2.1.1.1 *Talud.*

El talud es un concepto que se maneja con regularidad en esta tesis por lo cual es importante definirla. “Un “talud” o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura.” (De Matteis, 2003) Aunque en su libro Deslizamientos Suarez hace referencia a las diferencias que existen en los conceptos técnicos. Él dice que el término “talud” se lo utiliza cuando este se construyó de manera artificial y que el concepto “ladera” se utiliza cuando está en forma natural. (Suarez, 2009)

El talud está formado por varias partes y estas son:

- Pie: Tiene una forma general cóncava; está ubicado en la parte inferior del talud y se lo puede identificar por el cambio súbito de la pendiente.
- Cabeza: Se encuentra en la parte superior del talud o ladera e igual que el pie presenta un cambio brusco de la pendiente.
- Altura: Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza; en los taludes es fácil identificar porque el pie y la cabeza están bien marcados, pero esto no pasa cuando es una ladera debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien definidos.
- Pendiente: Es la medida de la inclinación de la superficie del talud o ladera.

2.1.1.2 *Deslizamiento.*

Los deslizamientos (“Landslides”) consisten en “movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” (Cruden, 1991) Los movimientos ocurren

generalmente a lo largo de las superficies de falla, por caída libre, movimientos en masa, erosión o flujos. Como los taludes los deslizamientos tienen sus elementos y estos son:

- Cabeza: Es la parte superior del suelo que se desplaza. No es lo mismo la cabeza del deslizamiento y la cabeza del talud.
- Escarpe principal: Es la superficie inclinada que deja el suelo perturbado y la continuación el escarpe en contacto con el material movido forma parte de la superficie de falla.
- Escarpe secundario: Es una superficie que fue provocada por un desplazamiento secundario dentro del suelo perturbado. En un desplazamiento existe la probabilidad que existan varios escarpes secundarios.
- Cima: El punto de mayor altura de la cabeza y es en donde el suelo desplazado y el escarpe principal tienen contacto.
- Corona: Es parte superior del material que no se ve afectado por el deslizamiento. Se encuentra por encima de la cabeza y en la parte más alta del escarpe principal.
- Superficie de falla: Es el área que se encuentra debajo del movimiento y es el límite del suelo alterado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de ésta, se desplaza. En algunos movimientos no hay superficie de falla. (Suarez, 2009)
- Punta o uña: Es el punto más distante a la cima.
- Flanco: Existe flanco derecho y flanco izquierdo. Son los perfiles laterales del movimiento. Para denominar derecho o izquierdo se lo hace desde la perspectiva observada desde la cabeza.

2.1.2 Clasificación De Los Movimientos.

2.1.2.1 Caídos.

Es un movimiento que se produce en taludes de gran pendiente en los cuales de un solo instante se produce caídas del material en bloques que puede ser uno o varios bloques. También existen desprendimientos de residuos que son bloques diminutos. Una vez desprendido generalmente el material realiza una caída libre por lo que al caer al suelo puede rodar, golpear o romperse en fragmentos pequeños. Se denomina a los desprendimientos de los taludes como desprendimientos principales y a los que ruedan o van llevando con ellos a más materiales se les llama desprendimiento secundario. (Varnes, 1978)

2.1.2.2 Inclinación o Volcamiento.

Este tipo de movimiento abarca una rotación hacia delante de los bloques de suelo, se caracteriza porque el punto de giro se ubica por debajo del centro de gravedad del segmento de suelo. Es muy común encontrar este tipo de movimiento en suelos rocosos y en menor manera en suelos cohesivos secos y en suelos residuales. El tamaño del volcamiento puede abarcar desde un segmento pequeño de tierra o bloques de varios millones de metros cúbicos. Este movimiento puede formar caídos, derrumbes o flujos dado que al principio tienden a ser lentos, pero mientras se activa puede formarse los movimientos antes mencionados. (Suarez, 2009)

2.1.2.3 Deslizamiento Rotacional.

Estos suelos se producen generalmente en suelo homogéneos, no importa si son naturales o contruidos. Según Suarez en su libro Deslizamientos Volumen 1: Análisis geotécnico, este tipo de movimiento que se ha estudiado con más profundidad por su facilidad de análisis. La rotura de este movimiento es una superficie curvilínea y cóncava hacia arriba. (Suarez, 2009) El centro de giro se encuentra por encima del centro de

gravedad de la masa en movimientos. Los deslizamientos rotacionales, una vez producidos, son susceptibles de reactivación. Los materiales de la cabeza se inclinan contra el talud, generando depresiones paralelas a la corona de la ladera y a través de la cual se infiltran las aguas superficiales generando depresiones donde se acumula el agua e induce nuevas reactivaciones. (Almaguer-Carmenates & Guardado-Lacaba, 2006)

2.1.2.4 *Deslizamiento Traslacional.*

Este deslizamiento ocurre a lo largo de una superficie de rotura plana u ondulada. Se produce porque la resistencia a cortante de la masa falla. La masa deslizada puede seguir por la ladera. Los componentes del suelo perturbado se mueven con una misma velocidad y siguen trayectorias paralelas. Cuando el movimiento traslacional avanza hay probabilidades que se rompa y pueda formar un flujo. “Deslizamientos traslacionales de bloques de suelo o roca sin apenas trocearse, sobre superficies únicas en macizos rocosos se han denominado resbalamientos” Se forma roturas de cuñas cuanto la superficie de falla del deslizamiento está formada por dos planos los cuales se intersecan y avanzan en la línea de intersección. (García Yagüe, “Contribución para la clasificación de los movimientos del terreno”, 1966)

2.1.2.5 *Hundimiento.*

Son movimientos verticales de suelo, en los cuales se evidencian una reducción del volumen del terreno. Este tipo de movimientos cuando son de gran magnitud no es un pre-requisito que exista un talud para que ocurra y es considerado un deslizamiento. Los hundimientos pueden ser de diferentes magnitudes. Los hundimientos por deformación geológica conocidos en la nomenclatura internacional como “sagging” (Hutchinson , 1968), “son deformaciones profundas, en gran escala, bajo la influencia de la gravedad. Se presentan en macizos de roca aparentemente competente donde han ocurrido procesos internos de cambio de esfuerzos.” (Suarez, 2009)

2.1.2.6 *Flujo.*

Cuando los deslizamientos no tienen un comportamiento como los antes mencionados pueden llegar a deslizarse notablemente como un fluido. Este tipo de deslizamiento, tiene una gradación desde los deslizamientos a los flujos dependiendo del contenido de agua, movilidad y evolución del movimiento. Por ejemplo, existe los flujos de bloques de roca, flujos de lodo y los flujos de residuos. Por otro lado, un factor importante que normalmente define la modelación del flujo es la cantidad de sedimentos que transporta. El flujo es un tipo de deslizamiento se asemeja a un fluido viscoso en cuanto a la velocidad de desplazamiento. Esto causa que la masa no conserve su forma mientras desciende y tiene formas lobuladas. (Suarez, 2009) En planta, el flujo inicia con una zona que forma un embudo, una zona de transición también llamada zona de tránsito de flujo y una zona de depositación en abanico (Bateman, Medina, Steiner, & Velasco, 2006). En los flujos hay un origen de los sólidos, una distancia de recorrido y una zona de depositación (Iverson, 1997).

2.1.3 Factores Que Afectan En El Comportamiento De Los Taludes.

2.1.3.1 *Litología o formación geológica.*

La litología forma parte de la geología que estudia las rocas y las clasifica por su tamaño de sus partículas, el tamaño de grano, sus características físicas y químicas. Igualmente, la litología caracteriza su textura, su composición, tipo de transporte así mismo como su composición mineralógica, distribución espacial y material cementante. (Delgado & Godoy, 2009)

Es muy importante la litología del talud dado que su comportamiento depende bastante de su formación geológica puesto que si un talud está formado por un material homogéneo su estudio se simplifica y por lo tanto su modelamiento también siendo el caso contrario lo que siempre pasa en la vida real es un perfil compuesto por varios tipos

de suelos que dificultan su estudio porque se debe tomar en cuenta todos los suelos que lo componen y su comportamiento pero a su vez debe tomarse en cuenta el comportamiento de los suelos en conjunto. Tomando lo anterior en cuenta se conoce el posible comportamiento del suelo en estudio ante la erosión, el clima, movimientos sísmicos y el transporte. (Suarez, 2009)

2.1.3.2 *Microestructura.*

Este factor define al igual de la litología el comportamiento de la masa estudiada dando datos importantes como el ángulo de reposo del suelo y también la pendiente máxima que puede tener un talud. La microestructura toma en cuenta la disposición de las partículas de suelo y por ellas se clasifican en microestructuras granulares, microestructuras arenosas y cuando son diferentes a las anteriores se las describe según su comportamiento por ejemplo En cavidades, Fracturadas y Masiva (González, 2012)

2.1.3.3 *Estructura geológica.*

La estructura geológica es el plano de debilidad que tiene un cuerpo de suelo dado que existen diversas discontinuidades y es común que cuando existe un deslizamiento ocurran en estas superficies. En esta estructura existen varios tipos de elementos que la componen como, por ejemplo:

- Los planos de estratificación: Son los planos donde la litología del terreno cambia y se provoca más ocurrencia de deslizamientos si este cambio es súbito.
- Los planos de foliación o esquistosidad: Estos planos forman parte de la microestructura puesto que se pueden observar estos planos en los esquistos que son rocas con minerales laminados y por esta propiedad son mayormente susceptibles a deslizamientos.

- Las fracturas: Planos de rotura del terreno y estas ligadas a los movimientos tectónicos y otros procesos de transformación de la corteza terrestre. Es de relevancia saber en dónde se encuentran en vista de que son un punto de acceso del agua. El agua, al penetrar a la junta, provoca la meteorización de sus paredes, reduciendo su resistencia. Adicionalmente, se depositan materiales blandos dentro de la junta. (Suarez, 2009) Estos son factores que desencadenen un deslizamiento.
- Los “slickensides” o paleo superficies de movimiento: Son planos que con anterioridad ya han ocurrida deslizamiento por lo tanto son lisas y de muy baja resistencia.

2.1.3.4 Geomorfología.

Es el estudio del origen de la tierra, de los procesos relacionados con su evolución, propiedades de sus materiales y las formas de la superficie del suelo. Todos estos elementos sirven para poder predecir el futuro estado del suelo y su comportamiento. Es decir, se puede realizar un modelamiento muy certero del comportamiento del talud y que efecto tiene sobre los procesos de inestabilidad. Dado que los procesos anteriores y los procesos actuales son una referencia a los futuros procesos que puede sufrir el talud. (Brunsden, 2002)

2.1.3.5 Estado de meteorización.

El estado de meteorización es el estado en el cual el suelo sufren cambios tantos físicos como químicos de disgregación una vez expuestos a los agentes atmosféricos siendo uno de los más influyentes el agua. La meteorización física contiene la disgregación del suelo, pero no tiene un cambio químico en sus minerales; se centra en los cambios que tiene la masa como el cambio de temperatura en la superficie. La meteorización química altera los minerales que componen el suelo que pueden perder

algunos elementos, transformarlos y enriquecerse de otros debido a que el agua es rica en minerales. La meteorización es un proceso que ocurre “in situ” y no abarca el transporte de los minerales o masa de suelo como lo hace la erosión. (Iriondo, 2007)

2.1.3.6 *Pendiente y relieve.*

La pendiente y relieve son factores que afectan de forma estática y dinámica al talud a causa de que cuando una pendiente es grande las fuerzas gravitacionales del talud aumentan y por ende lo desestabilizan a causa de esto, disminuye el factor de seguridad. Los taludes de pendientes que se encuentran cerca de los noventa grados son propensos a sufrir inclinaciones, flujos de residuos y caídos. (Suarez, 2009)

2.1.3.7 *Clima e hidrología.*

El clima afecta directamente a los taludes por la presencia de las precipitaciones que influyen de manera rotunda en la estabilidad de taludes. El agua y temperatura provocan la meteorización física y meteorización química. Por lo tanto, las variaciones del clima también afectan a estos procesos. Los taludes con diferentes condiciones climáticas tienen distintos perfiles y por lo tanto su comportamiento es diferente en consecuencia de que las fuerzas internas se modifican por las condiciones ambientales. (Errazuriz, y otros, 1998) Existen varios tipos de precipitaciones:

- Precipitaciones convectivas

Este tipo de precipitación tiene la característica que es muy fuerte pero su duración es corta y afecta en mayor medida a los taludes que se componen con suelos permeables y con alta capacidad de infiltración.

- Precipitaciones Estratiformes

Al contrario de las precipitaciones convectivas estas precipitaciones son mucho menos intensas pero su duración es prolongada. Afectan a los perfiles profundos de meteorización y los materiales arcillosos.

2.1.3.8 El Efecto Antrópico.

Uno de factores que pueden cambiar totalmente el comportamiento de un talud es la actividad humana; la presencia del ser humano puede provocar cambios en el medio ambiente del talud cambiando por lo tanto el comportamiento del mismo. El hombre puede llegar a provocar la activación de taludes por las actividades antrópicas como el uso del suelo, la agricultura, la construcción de obras civiles y la irrigación, entre otras, son factores claves en la ocurrencia de deslizamientos. (Suarez, 2009)

2.1.3.9 Sismicidad.

El Ecuador es un país altamente sísmico por causa de que por el país cruza una cadena montañosa importante como lo es la Cordillera de los Andes. Se sabe que las cadenas montañosas son el producto de movimientos tectónicos y procesos volcánicos. Por lo tanto, la sismicidad en el país es muy alta. Estos movimientos son capaces de activar deslizamientos por que aumentan el esfuerzo cortante, la presión de poros, las deformaciones y disminuyen la resistencia del suelo. (Mothes, 1998) “En el caso de suelos granulares saturados, se puede llegar a la falla, al cortante y a la licuación.” (Suarez, 2009)

2.1.3.10 Cobertura vegetal.

La cobertura vegetal cumple un papel muy importante como protección porque es capaz de reducir la infiltración de agua y afecta. Es por esto que las condiciones hidrológicas de una pendiente pueden variar. Se habla también de la acción de las raíces como un agente estabilizador de la masa de suelo. Y por último la existencia de la materia orgánica que funciona como material cementante a las partículas del suelo. (Suárez, 1998)

2.1.3.11 Tiempo.

Son pocos los procesos desestabilizadores que hacen que la masa de suelo se active instantáneamente. Por lo contrario, mucho necesitan de una cantidad considerable de

tiempo o periodos prolongados. Los taludes que están estables pueden estar pasando por algún proceso anterior mencionado y haciendo que de a poco la resistencia del talud vaya fallando. La variación de tiempo también tiene una estrecha relación con el clima y provocan que un talud durante la época seca este estable y cuando llega la época de lluvias este talud puede moverse o fallar. Un fenómeno de reptación (un tipo de deslizamiento que se desarrolla a lo largo de un periodo largo de tiempo) puede con el tiempo evolucionar a un deslizamiento de traslación. (Suárez, 1998)

2.1.4 Resistencia Del Suelo.

2.1.4.1 Parámetros Fundamentales.

- **Ángulo de Fricción**

El ángulo de fricción es un concepto básico de la física mecánica y es la representación matemática del coeficiente de rozamiento siendo este la tangente del ángulo de fricción. En algunos casos como en suelos granulares el ángulo de fricción coincide con el ángulo de reposo. En suelos cohesivos o de baja fricción se sabe que su ángulo de fricción es cero. (De Matteis, 2003) Este tiene algunos parámetros. Son los siguientes:

- Los materiales componen las partículas del suelo en estudio.
- El tamaño de los granos. Mayor es el ángulo si mayor tamaño tienen las partículas.
- La forma de las partículas.
- En los suelos bien gradados. Es decir que tienen una buena distribución de tamaños, el ϕ es mayor que en los suelos uniformes.
- Densidad.
- Permeabilidad (Facilidad de drenaje).
- Presión normal o de confinamiento.

“El ángulo de fricción es el resultado de la combinación de todos los factores. Por ejemplo, el ángulo de fricción es mayor al aumentar la densidad, pero si las presiones normales son muy altas, el ángulo de fricción tiende a disminuir. En arcillas, el ángulo de fricción depende de las condiciones de pre-consolidación.” (Suarez, 2009)

- Cohesión

En suelos la cohesión es el parámetro que mide la cementación o la adherencia que tienen las partículas entre sí por estar en contacto o muy próximas. Normalmente esta propiedad se ve afectada por la presencia de agua dado que esta lava materiales cementantes por lo cual reduce la cohesión hasta llegar a un estado líquido. Hay dos puntos de vista según el caso de estudio en mecánica de materiales la cohesión se utiliza para la representación de la resistencia al cortante, pero por otro lado en la física se la utiliza para representar la resistencia a la tensión. En materiales granulares la cohesión tiene a cero mientras menos materiales cementantes contenga el suelo; y se denominan como suelos “no cohesivos”. (Dal-Ré, 2001)

En los suelos no saturados, existe una tensión producida por la succión del agua en los poros, una presión de poros negativa entre partículas las cuales generan una cohesión aparente que desaparece cuando el suelo se satura. (Suárez, 1998)

- Resistencias Pico y Residual

Existen dos resistencias fundamentales en el análisis de estabilidad de taludes. Estas son:

- Resistencia pico.

La resistencia máxima que posee un material, en otras palabras, la resistencia que tiene un material que nunca ha sido fallado previamente y conserva todas sus características originales. Corresponde al punto más alto en la curva esfuerzo-deformación. La modelación de esta resistencia produce errores en el análisis debido a

que no se puede suponer que todos los puntos de la superficie de falla no hallan fallado. Normalmente hay ciertos puntos que fallan debido a una falla progresiva que se genera con el paso del tiempo. (Alonso, 2005)

- Resistencia residual.

Como su nombre lo indica es la resistencia que tiene el material una vez que falla y pierde sus capacidades mecánicas originales. Skempton recomienda utilizar para el cálculo de factores de seguridad, los valores de los parámetros obtenidos para la resistencia residual ϕ_r y C_r . La resistencia residual en suelos cohesivos se tiene que utilizar cuando halla la existencia de una superficie de corte, el cual nos indica que hubo un deslizamiento anteriormente. (Skempton , 1964)

- Presión de Poros

Es la presión que ejerce el agua en el espacio dentro de los poros dejado por las partículas del suelo. La presión de poros reduce los esfuerzos normales efectivos que existen entre las partículas tratando de separarlas y además reduciendo la resistencia de fricción entre granos. Cuando el agua no está en movimiento se genera una presión hidrostática. La presencia de agua y por lo tanto la presión están ligadas al clima. La presión aumenta en temporadas de lluvia y disminuye en temporadas de sequía.

- Esfuerzo Efectivo

El suelo cuando está saturado contiene dos tipos de materiales en el talud, las partículas del suelo y sus poros llenos de agua. Cuando se aplica un esfuerzo, este es soportado tanto por el suelo como por la presión que ejerce el agua. Según Suarez el esqueleto puede transmitir esfuerzos normales y de corte por los puntos de contacto entre las partículas y el agua a su vez, puede ejercer una presión hidrostática igual en todas las direcciones. Los esfuerzos ejercidos por el esqueleto se los conocen como esfuerzos efectivos y los ejercidos por el agua es la presión de poros. Los esfuerzos efectivos son

los que controlan el comportamiento del suelo al cortante y no los esfuerzos totales.

(Suárez, 1998)

- **Esfuerzo Total**

Es la sumatoria de todas las fuerzas que se encuentran en el suelo siendo estas de origen granular como del agua (presión de poros) divididas por el área total e incluyendo el área de sólidos y el área de vacíos. Es esfuerzo total se lo utiliza para estudiar la estabilidad a corto plazo y el esfuerzo efectivo se utilizan para la estabilidad a largo plazo.

(Braja Das, 1999)

2.1.4.2 *Circulo de Mohr.*

El circulo es un diagrama utilizado para representar los ensayos de corte en los suelos en estudio. Representa un ensayo triaxial y la envolvente es el estado de los esfuerzos en el momento de la falla al cortante. Los esfuerzos en un punto son los esfuerzos de un elemento infinitesimal que está sometido a los esfuerzos σ_x , σ_y , y τ_{xy} . Con estos datos se puede trazar el circulo de Mohr. Con este diagrama se busca definir los esfuerzos máximos y mínimos conocidos como esfuerzos principales. (Braja Das, 1999). Suárez (1998) recomienda que para interpretar de manera correcta el fenómeno de falla al cortante en un talud, debe tomarse en cuenta:

- La dirección de los esfuerzos principales en cada punto de la superficie de falla.
- El esfuerzo máximo tiene una dirección vertical en la parte superior de la falla y horizontal en la parte inferior.

2.1.4.3 *Ecuación de Coulomb para Suelos Saturados.*

La representación matemática de la falla de un talud se la realiza en base de la mecánica de materiales. Los materiales del suelo fallan a cortante y obedecen a las

teorías tradicionales de fricción y cohesión. La siguiente ecuación se la utiliza cuando el grado de saturación es mayor del 85%. (Suarez, 2009)

$$\tau = c' + (\sigma - \mu) \tan \phi'$$

La ecuación es para suelos saturados.

Donde:

τ : Esfuerzo de resistencia a corte.

c' : Cohesión o cementación efectiva.

σ : Esfuerzo normal total.

μ : Presión del agua intersticial o de poros.

σ' : (Presión efectiva) $(\sigma - \mu)$.

ϕ' : Angulo de fricción para presiones efectivas.

2.1.4.4 Ecuación de Coulomb para Suelos No saturados.

Para suelos con saturación menor del 85%, se deben aplicar la mecánica de suelos no saturados. (Fredlund & Rahardjo, 1987)

$$\tau = c' + (\sigma_n - \sigma_a) \tan \phi' + (\mu_a - \mu_w) \tan \phi^b$$

σ_n : esfuerzo normal total.

μ_a : Presión en el aire de los poros.

μ_w : presión en el agua de los poros, la cual comúnmente es negativa.

ϕ^b : ángulo de fricción igual a la pendiente de la curva de succión matricial

$(\mu_a - \mu_w)$ contra resistencia al cortante τ cuando $(\sigma_n - \sigma_a)$ se mantiene constante.

(Suarez, 2009)

2.1.5 Mecanismos De Falla.

2.1.5.1 Condiciones Originales del Talud (Susceptibilidad).

Las condiciones originales del talud como son: el relieve, la pendiente, geología, sus propiedades mecánicas y propiedades químicas, condiciones ambientales y cobertura

vegetal. Todos estos factores como se habló anteriormente pueden influir en la susceptibilidad del talud a deteriorarse, al fallamiento y a la influencia de los factores detonantes.

2.1.5.2 *Equilibrio o Desequilibrio de Fuerzas.*

El equilibrio de las fuerzas en un talud es fundamental a causa de que existen fuerzas que colaboran con el proceso de falla y otras fuerzas que lo resisten se las denomina como fuerzas actuantes y fuerzas resistentes respectivamente. Cuando se aumentan cargas en la cabeza del talud o se retira parte del pie de un talud se puede afectar este equilibrio y desencadenar una inestabilidad.

2.1.5.3 *El Deterioro.*

El deterioro es la alteración tanto física como química de los materiales que comprende el talud. Este proceso no tiene una velocidad determinada pueden ser lentos o rápidos. Por ejemplo, cuando existe un deterioro por parte de la actividad humana cuando se interviene un talud natural se excava o se coloca más peso crea esfuerzos sobre el talud o produce una relajación de esfuerzos de confinamiento y expone al material al medio ambiente. Y el resultado de cualquier tipo de deterioro es la disminución de la resistencia a corte de la masa de suelo. “Igualmente se puede producir descomposición por desecación, reducción de la cohesión, lavado y remoción de los cementantes, disolución, erosión interna o sifonamiento” (Suarez, 2009)

2.1.5.4 *Factores Detonantes.*

Estos factores son influyentes en la activación de un deslizamiento. Es un proceso que también pueden involucrar a los factores de deterioro. Estas detonaciones pueden ser lentas como pueden darse de manera violenta. Estos factores provocan el aumento de los esfuerzos cortantes provocando el movimiento en la superficie de falla. Son los siguientes:

- Realizar cortes en el soporte del talud. Es decir, realizar cortes en el pie del talud; este corte puede ser de diversos orígenes desde la erosión o por actividad antrópica. Y aquí también se incluye el adicionar peso en la parte más alta del talud adicionando cargas que favorecen a la falla.
- Lluvias de fuerte intensidad o a su vez que tengan una larga duración.
- Presencia de variaciones fuertes del nivel de aguas subterráneas.
- Sismos.
- Combinación de varios factores detonantes.

2.1.5.5 *Falla progresiva.*

La falla de un talud en la mayoría de casos toma un tiempo para que falle, pocos son los casos que fallen instantáneamente. El proceso de falla comenzara con la formación de grietas aisladas y deformaciones pequeñas. Estas deformaciones están relacionadas con la concentración de esfuerzos y por ende la disminución de la resistencia. Es probable que al irse dando una falla progresiva existan deformaciones en volúmenes aislados del talud, pero a medida que va pasando el tiempo los esfuerzos se concentraran en la superficie de falla que con el tiempo se ira haciendo cada vez más amplia.

Como la superficie de falla va evolucionando con el tiempo de igual manera el factor de seguridad es un término dependiente del tiempo, dado que el aumento de la superficie de cortante provoca una disminución en el factor de seguridad dado que la resistencia del material comienza a ser una resistencia residual. Eventualmente, se alcanza un punto en el cual el esfuerzo en la porción no fallada empieza a aumentar hiperbólicamente (Kilburn y Petley, 2003).

Al producirse el aumento hiperbólico en los esfuerzos, la proporción de movimiento ya no depende del agrietamiento y se inicia un proceso de formación de una

superficie de falla lisa o de una sección de falla de espesor significativo. En este punto el factor de seguridad es igual a 1.0 y ocurre la falla (Petley y otros, 2005).

2.1.5.6 *Formación de la Superficie de Falla.*

La superficie de falla es la superficie de corte en la cual las partículas de suelo en esta zona se mueven como un fluido. Lo que hace que su estructura sea más suelta y sus porosidades se elevan considerablemente. También la estructura se debilita y su composición es variada. El suelo dilatado favorece a que existan las deformaciones de cortante. Al aumentar la presión de poros y ocurren aumentos súbitos de esfuerzos, se aumenta la velocidad del movimiento (Wen y Aydin, 2005).

2.1.5.7 *Movimientos Post-falla.*

Esta etapa consta del tiempo en que el talud falla hasta que se detiene. Cuando un talud falla el material es transportado por medio de deslizamientos o caídos hasta que son depositados y la masa en movimiento queda estática. Una vez en este estado puede activarse y moverse nuevamente.

Los movimientos post-falla son movimientos en que la energía que contiene la masa se disipa progresivamente con el rompimiento y desaceleración por fricción del movimiento inicial. La energía del deslizamiento tiene tres componentes principales:

- Energía Potencial.

Esta energía es la que tiene la masa de suelo debido a su geometría y a su localización respecto a un eje de referencia. Esta energía se transforma en energía cinética y es importante estudiar esta energía porque nos permite predecir el comportamiento del movimiento. La energía cinética puede disiparse debido a la fricción que se produce entre el suelo.

- Energía Friccionante.

Esta energía es complicada de evaluar dado que para calcularla se necesita de una superficie de contacto, pero en la práctica esta energía no se disipa a lo largo de una sola superficie de falla si no de múltiples superficies dentro de la masa deslizada

- Energía de Desmoronamiento.

Esta energía disipa en gran medida a la energía potencial y cinética. Sin embargo, en la literatura existe muy poca documentación sobre el tema.” (Suarez, 2009) Se conoce que los flujos de roca recorren mayor distancia cuando no se desmoronan y se frenan rápidamente cuando se desmoronan.

2.1.6 Acción Del Agua.

2.1.6.1 Lubricación.

La lubricación es un efecto que disminuye la resistencia y principalmente a la fricción en las discontinuidades es por esto que afecta a toda la longitud de las fracturas o en planos de estratificación. En conjunto con la presión de poros los efectos de la lubricación se ven potenciados. Su efecto es de menor relevancia dentro de la masa de suelos dado que en esta zona predomina la presión de poros. (Wu, 2003).

2.1.6.2 Ablandamiento.

Este proceso afecta directamente a las propiedades físicas de los materiales de relleno. Es decir, del material que se encuentran en las fracturas y planos de fallo de las rocas. Esto se debe a que con la presencia de agua este material se debilita. El ablandamiento decrece la cohesión y la resistencia al cortante. (Suárez, 1998)

2.1.6.3 Presiones De Poros.

Como se ha mencionado antes esta presión es la presión que genera el agua en los poros dejados por las partículas de suelo. Se trata de agua subterránea que reduce la presión efectiva y la resistencia al cortante. Esta presión incrementa según se vaya adentrando a la masa de suelo. Al tener precipitaciones esta presión puede aumentar; y

dependiendo del tipo de suelo puede verse afectado con una lluvia fuerte o una lluvia lenta pero prolongada.

Para medir la presión de poros utilizamos piezómetros. Que cuando no existe un flujo de agua, la presión de poros coincide con el nivel freático; es una presión hidrostática. Pero si por el contrario existe un flujo de agua esta presión obedece a la hidrodinámica que utilice las redes de flujo y las líneas de flujo que son líneas que tiene la misma presión de poros.

Para el análisis de la presión de poros sobre algún tipo de falla se debe tener en cuenta las condiciones que puede desarropar dicha presión como son las condiciones de drenado. Porque, si el drenaje es pobre en el suelo la presión de poros en el pie de un talud incrementa notablemente. (Suarez, 2009)

2.1.6.4 Variación del Nivel Freático.

En las épocas lluviosas es donde la presencia de deslizamientos se presenta con más frecuencia. Pero existen casos que también los deslizamientos ocurren con lluvias de menos intensidad después de que haya existido con anterioridad una lluvia más fuerte. Este caso es explicado por Lacerda y Santos (2000), y lo presentan como la fatiga del suelo, debido a las variaciones de presiones de poros en forma cíclica. “Este fenómeno de fatiga fue comprobado en ensayos triaxiales drenados. Este fenómeno puede clasificarse como un fenómeno de deterioro de las propiedades del suelo por el ascenso y descenso de los niveles freáticos y es muy común en los taludes de las orillas de los ríos.” (Suarez, 2009)

2.1.6.5 Lavado De Cementantes.

La presencia de agua en los taludes provoca la disolución de materiales cementantes naturales. El agua subterránea es la encargada de lavar dichos materiales y provocar que la resistencia del talud se reduzca, debilitando los vínculos granulares por

lo tanto la cohesión se ve afectada de igual manera el coeficiente de fricción interna. Uno de los suelos más afectados por este efecto del agua son los suelos residuales dado que necesitan de los materiales granulares para mantener sus propiedades mecánicas.

2.1.6.6 Erosión.

La erosión es un proceso en el cual el material del suelo se desprende, se arrastre y se deposita por la intervención del agua. Es capaz de modificar los relieves de un talud y hasta los esfuerzos que se necesitan para activar dicho talud. (Suárez, 1998) Existen varios tipos de erosión entre ellos se encuentran:

- Erosión por exfiltración

Este tipo de erosión se presenta cuando el agua subterránea emerge hasta la superficie del talud y por su paso causa desprendimientos de material lo que cárcavas las cuales debilitan al talud y actúan como activadores de movimientos dentro del talud.

- Erosión interna

Cuando los flujos internos del talud son altos, se puede transportar las partículas creando pequeños canales que por el paso del agua se amplían provocan desestabilizaciones en el talud. el comportamiento del agua en el interior del suelo debilita los limos, la arena fina. Lo cual también es una causa de desestabilización.

2.1.6.7 La Infiltración.

Este caso se da cuando existen precipitaciones y el agua que cae sobre el suelo desplaza el agua existente hacia dentro del talud, causando la infiltración. Cuando llueve el inicio de la precipitación se infiltra por completo humedeciendo el suelo. Es por esto que la humedad preexistente es importante a causa de que determina la cantidad de infiltración. Cuando el agua quiere filtrarse primero se crea una lámina de saturación y si esta lamina o capa de saturación no llega al equilibrio no se forma una corriente de infiltración. Según Suarez (1998) el equilibrio se logra cuando todo el perfil está

transmitiendo agua a la máxima rata permitida por la parte menos permeable de los horizontes. Esto puede ocurrir entre diez minutos o varias horas después de iniciada la lluvia.

El exceso de agua se queda en la superficie; creando una corriente superficial. De acuerdo con la infiltración, la intensidad de lluvia y las características físicas del terreno.

2.2 Investigación De La Zona De Estudio.

2.2.1 Identificación De La Zona.



Ilustración 1 Zona de Estudio (Longitud), (Google Maps, 2017)

La zona de estudio comprende una longitud de 4.6 kilómetros. Son taludes formados por la construcción de la avenida Simón Bolívar. Fueron realizados con un corte relativamente vertical. Dentro de la zona de estudio se encuentran importantes edificaciones como, por ejemplo: La Universidad De Las Américas (Udla Ecopark), una gasolinera, un edificio de oficinas, un cementerio (Camposanto Monte Olivo) y la casa de la selección. Esta zona es muy importante debido a que conecta la parte centro-norte de la ciudad con los valles de Cumbaya y Tumbaco.



Ilustración 2: Elevación de la Zona de Estudio (Google Maps, 2017)

La altura mínima de la zona de estudio en la cual se encuentran los taludes es 2633 msnm y la altura máxima es de 2874 msnm.

En la zona se tomó los deslizamientos más notorios. Los cuales tienen la siguiente ubicación:

Talud	Latitud	Longitud
1	-0.163702	-78.460179
2	-0.16491	-78.453882
3	-0.1658333	-78.453055
4	-0.166392	-78.452831
5	-0.16648	-78.452852
6	-0.168036	-78.452841
7	-0.168317	-78.452836
8	-0.168875	-78.452858
9	-0.169979	-78.452896
10	-0.171829	-78.453459
11	-0.181367	-78.451593
12	-0.182962	-78.45111

Tabla 1 Ubicación de los taludes



Ilustración 3 Mapa de ubicacion de los taludes

2.2.2 Datos Geológicos De La Zona.

Para la obtención de datos geológicos se tomó la referencia de los estudios realizados por los ingenieros: Jorge Valverde, Jeannette Fernández, Eliana Jiménez, Tany Vaca y Fausto Alarcón. En su trabajo, MICROZONIFICACION SISMICA DE LOS SUELOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE LA CIUDAD DE QUITO. Como también de la publicación, The Quito, Ecuador, Earthquake Risk Management Project, que fue una colaboración de la Escuela Politécnica Nacional, GeoHazards International y otros. En esta última publicación dividen a Quito por zonas según su composición geomorfológicas. Por lo que nos permite saber que la zona de estudio está compuesta de un suelo ML en su mayoría y tiene una formación de Cangagua. Así como también podemos ver que todo el lado Este de Quito se encuentra formado por Cangagua.

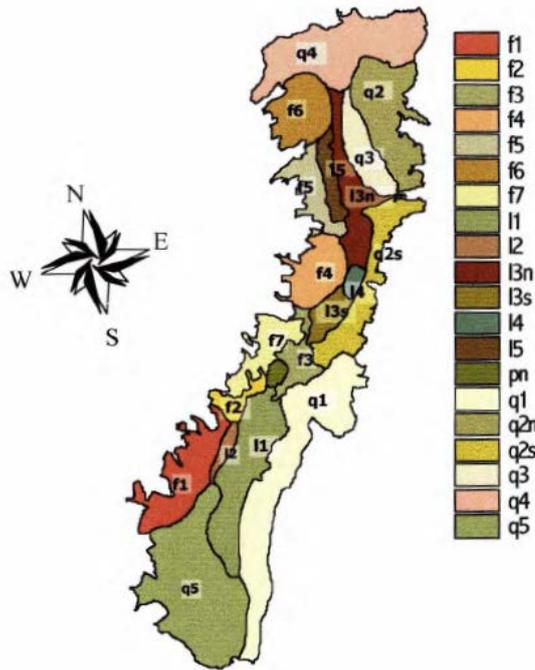


Ilustración 4 Zonificación de la Ciudad de Quito (The Quito, Ecuador, Earthquake Risk Management Project, 1994)

La zona de interés es la Zona Q2s. Tiene los siguientes datos y el perfil que obtenemos es de un suelo catalogado por la SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) como un ML. Que es un suelo Limo Inorgánico con un límite líquido menor a 50.

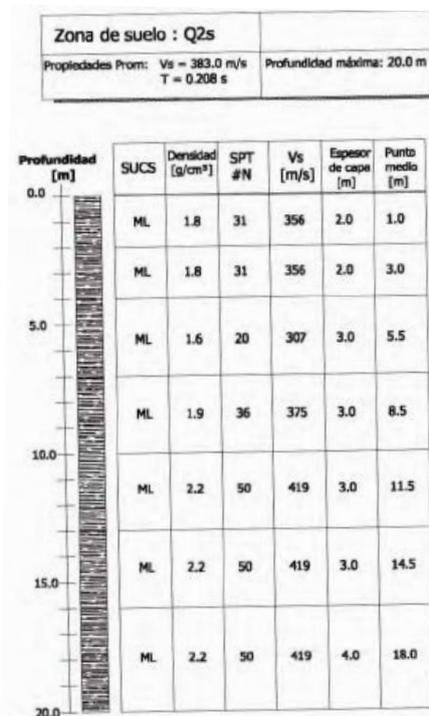


Ilustración 5 Perfil Geológico de la Zona de Estudio (Microzonificación Sísmica de los Suelos Del Distrito Metropolitano de la Ciudad de Quito)

2.2.3 Datos Hidrológicos De La Zona.

Con los datos obtenidos del INAMHI y otra entidad como el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) sobre las precipitaciones en los últimos años además con una gráfica con un promedio histórico se puede ver que los meses con mayor precipitación en la provincia de Pichincha es en los meses de marzo y abril. Por lo cual se puede destacar que en estos meses los taludes con más susceptibles a sufrir de inestabilidad. Ya que como vimos en la sección anterior el agua tiene una relevancia directa con la estabilidad de una masa de suelo. Así mismo se puede ver que los meses con menos taza de precipitación son los meses de junio, julio y agosto. Obteniendo estos datos es fundamental que se tome en cuenta la acción del agua en el modelo que se va a implementar en esta tesis.

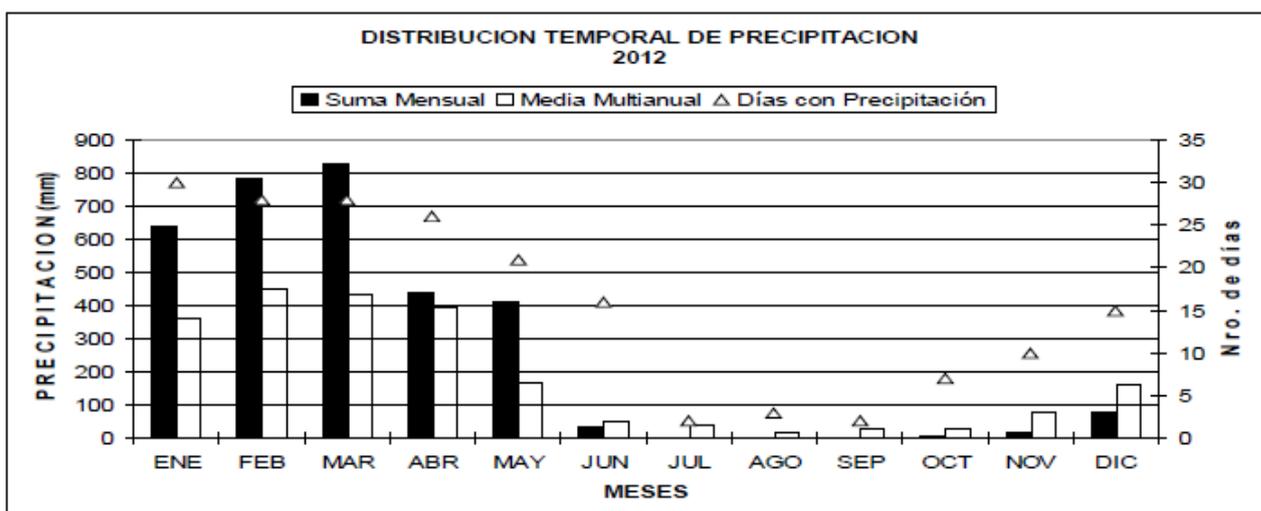


Ilustración 6 Precipitación del 2012 (Inamhi, 2012)

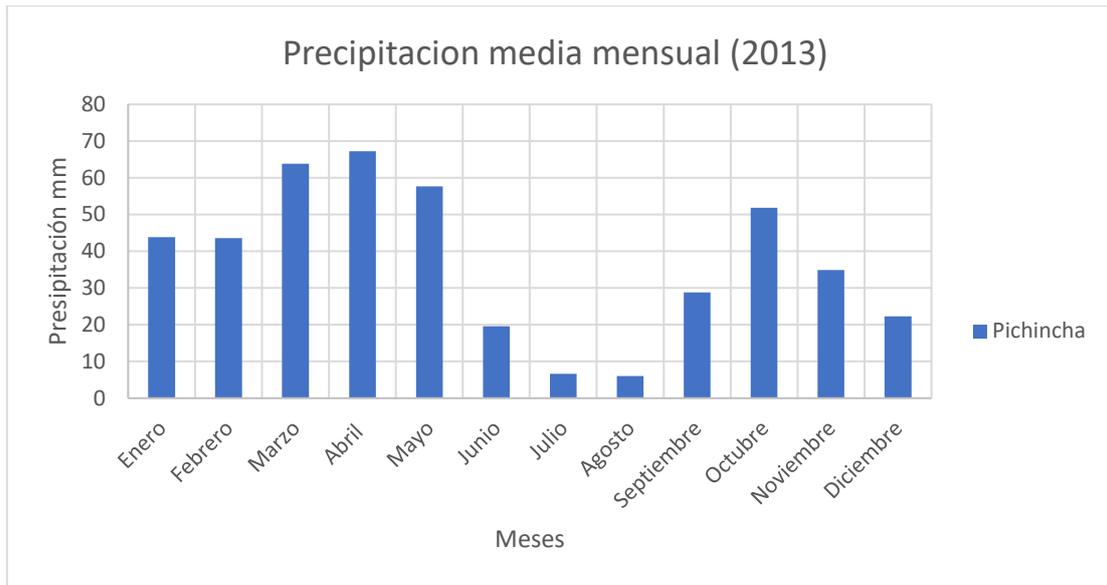


Ilustración 7 Precipitación media anual 2013 (Inamhi, 2013)

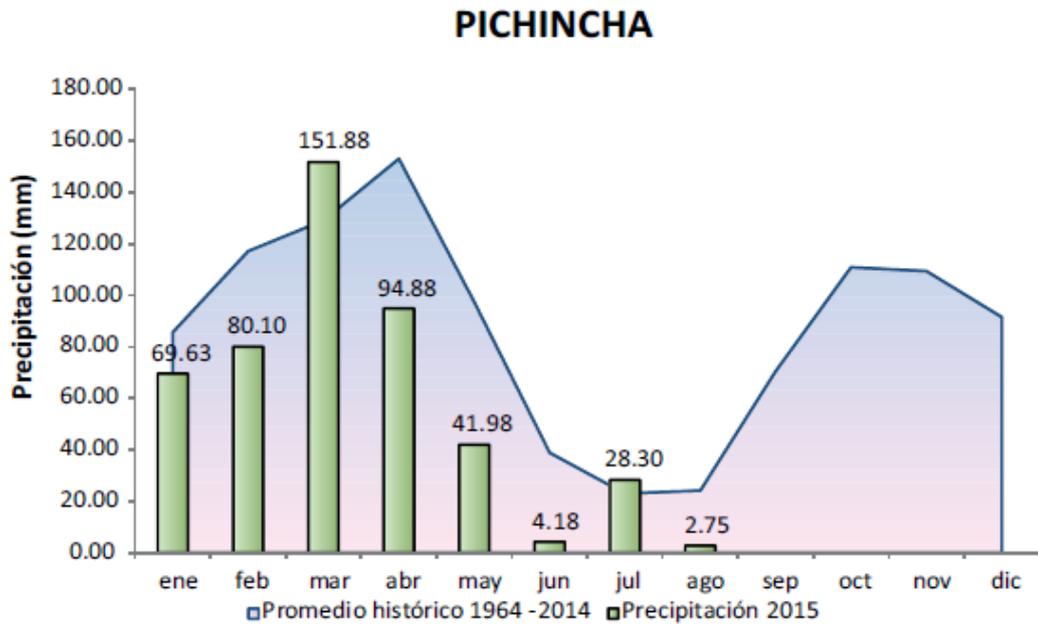


Ilustración 8 Precipitación anual e histórica. (MAGAP, 2015)

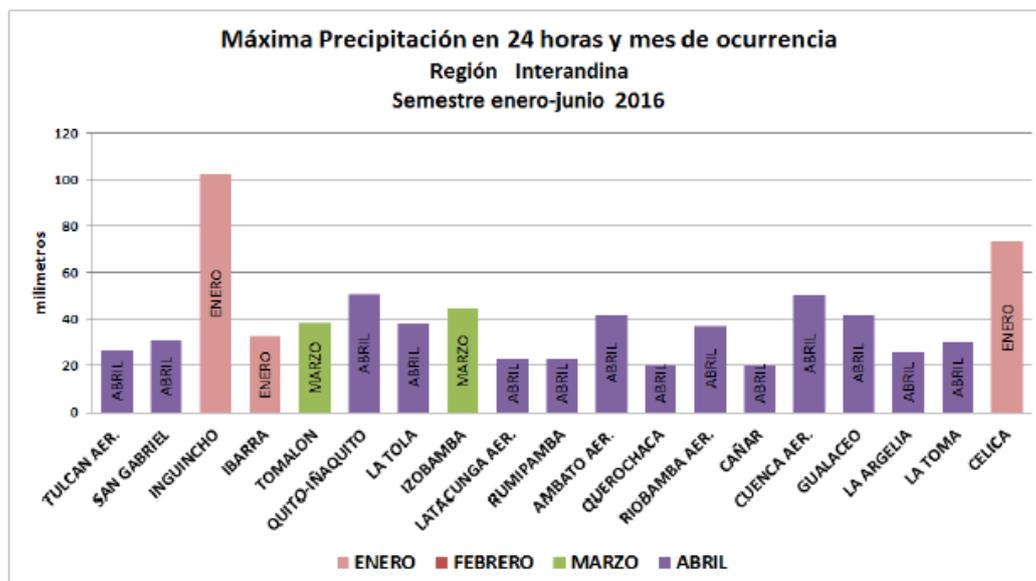


Ilustración 9 Meses de precipitación Máximas en 24 horas. Semestre enero-junio 2016, región Interandina. (Inamhi, 2016)

2.3 Cálculos Realizados.

2.3.1 Metodología.

Con todos los datos anteriormente propuestos de la geología y la hidrología de la zona de interés se planteó usar un modelo de Equilibrio Limite, el cual se obtuvo por varias observaciones en la zona de estudio. Por lo tanto, se procedió a realizar un modelo que abarque a todos los taludes.

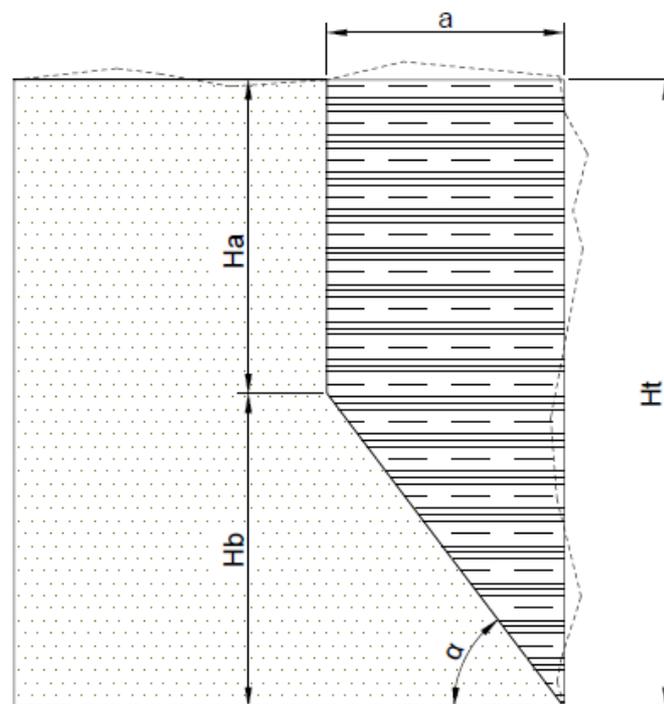


Ilustración 10 Gráfica del modelo utilizado

Con el modelo propuesto se realizó varias visitas a la zona de estudio para obtener una memoria fotográfica y también poder realizar un dimensionamiento de las medidas necesarias para aplicar el modelo propuesto. El cual se propuso no utilizar un estudio de suelos. Por lo que se procedió a tomar la geometría del talud, y se plantearon dos incógnitas en el modelo. El ángulo de fricción interna que está limitado por la clase de suelo que estamos estudiando (20° - 30°) y la cohesión que la vamos a obtener aplicando el principio del método de Cullman.

El método de Cullman es parte de la teoría de taludes finitos. Los cuales el H de estudio se aproxima a la altura del talud. Según Braja Das, el método de Cullman da buenos resultados para laderas casi verticales. Como modelo tomamos un talud vertical. Este método se basa en que la falla de un talud se produce a lo largo de un plano cuando el esfuerzo medio de corte es mayor a la resistencia del suelo al corte. Es decir, cuando el F.S. sea menor a uno. Recordemos que el factor de seguridad es la relación entre la resistencia media a corte y el esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie de falla. Es importante dado que la resistencia de corte de un suelo se divide en dos partes, la primera por la cohesión del suelo y la otra por el ángulo de fricción interna que es intrínseca de cada material y el esfuerzo normal generado en la superficie de falla.

En base a lo antes visto se propuso cuatro combinaciones de fuerzas que intervienen en el modelo. Y son las siguientes: la primera es el peso de la cuña de estudio. La segunda es el peso más una fuerza sísmica, por lo que estamos realizando un cálculo pseudo-estático se supone una fuerza sísmica igual al diez por ciento del peso. La tercera es la combinación del peso con la fuerza hidrostática que se genera por la intervención del agua en la grieta de falla. Y por último la cuarta que es una mezcla de las combinaciones anteriores que son el peso, la fuerza sísmica y la fuerza hidrostática. Para comprobar estas combinaciones se varia las cohesiones para encontrar un factor de seguridad igual a uno. Y se tomó estos datos para cada talud en el estudio. Luego se prosiguió a ver las relaciones que tiene la cohesión con el ángulo de fricción interna con respecto a la altura total del talud y con respecto a la altura H_a . Por consiguiente, se presentan los cálculos tomados para las cuatro combinaciones.

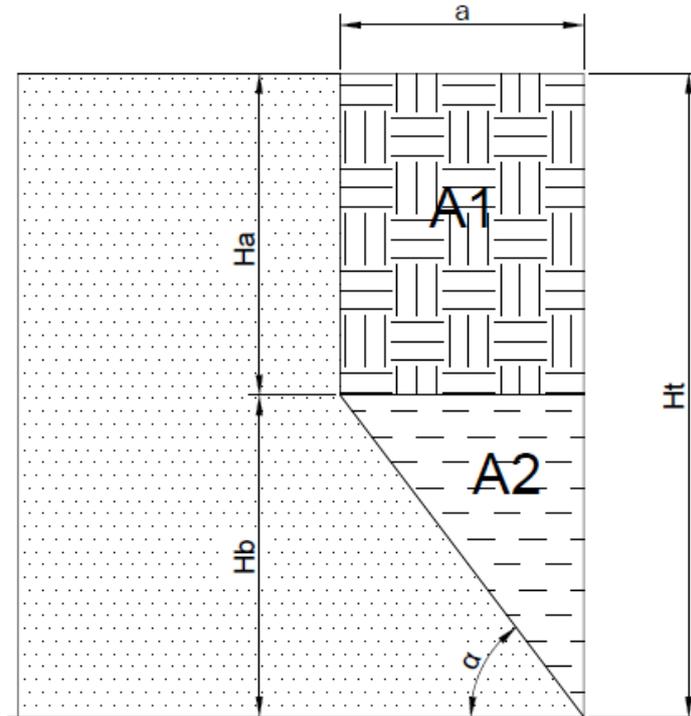


Ilustración 11 Gráfica de las áreas del modelo

2.3.1.1 Cálculos Con De Limite De Equilibrio Con El Peso.

$$A_1 = H_a * a \text{ [m}^2\text{]}$$

Ecuación 1 Calculo Área 1

$$A_2 = H_b * a \text{ [m}^2\text{]}$$

Ecuación 2 Calculo Área 2

$$A_T = A_1 + A_2 \text{ [m}^2\text{]}$$

Ecuación 3 Calculo Área Total

$$V = A_T * P \text{ [m}^3\text{]}$$

Ecuación 4 Volumen Talud

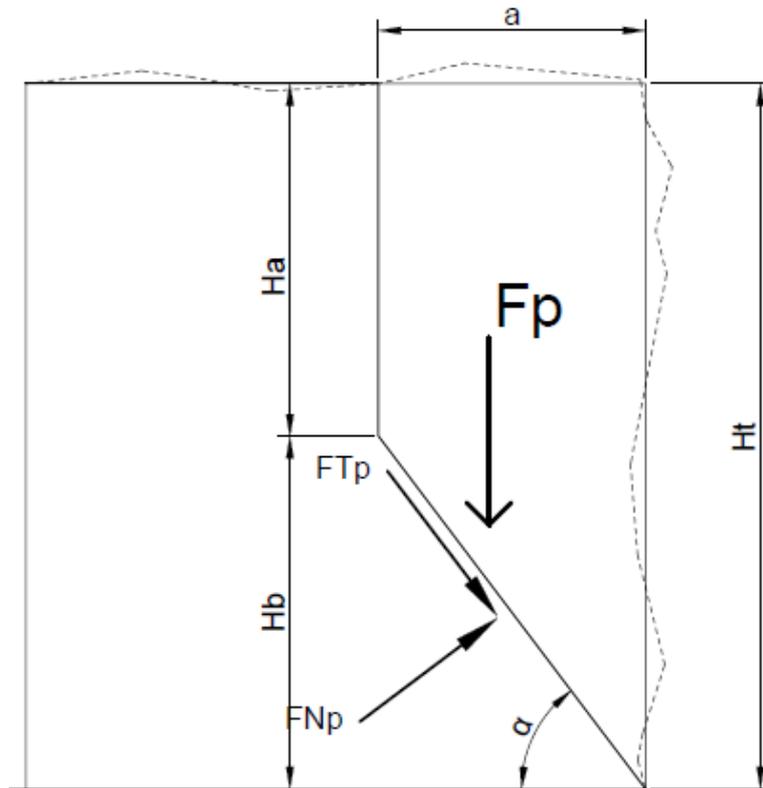


Ilustración 12 Gráfica modelo del peso

$$Fp = V * dt * 9807 \text{ [N]}$$

Ecuación 5 Fuerza debido a la Masa del Talud en Newton

$$FNp = Fp * \text{COS}(\alpha) \text{ [N]}$$

Ecuación 6 Fuerza Normal del Peso

$$FTp = Fp * \text{SEN}(\alpha) \text{ [N]}$$

Ecuación 7 Fuerza Cortante del Peso

$$\sigma_N = \frac{FNp}{\left(\frac{H_b * P}{\text{SEN}(\alpha)}\right)} \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Ecuación 8 Esfuerzo Normal Para El Peso

$$\tau = \frac{FTp}{\left(\frac{H_b * P}{\text{SEN}(\alpha)}\right)} \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Ecuación 9 Esfuerzo Cortante Para El Peso

$$\tau_R = c + \sigma_N \text{TAN}(\phi) \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Ecuación 10 Esfuerzo Resistente Promedio

$$F.S = \frac{\tau_R}{\tau}$$

Ecuación 11 Factor de Seguridad

En Donde:

A_1 : Área Sección 1.

H_a : Altura de la primera sección.

a : Ancho.

A_2 : Área Sección 2.

H_b : Altura de la segunda sección.

A_T : Altura total.

P : Profundidad.

dt : Densidad de la Tierra.

Fp : Fuerza del peso.

α : Angulo de la falla del talud.

FNp : Fuerza normal del peso.

FTp : Fuerza cortante del peso.

σ_N : Esfuerzo normal del peso.

τ : Esfuerzo cortante del peso.

c : Cohesión.

τ_R : Esfuerzo Resistente.

$F.S$: Factor de seguridad.

2.3.1.2 Cálculos Con De Limite De Equilibrio Con El Peso Más EL

Sismo.

Para el sismo se toma en cuenta una fuerza equivalente al 10% del peso. Lo cual afecta al comportamiento del equilibrio de fuerzas. Y se necesita volver a calcular las

cortantes. Se toma las Ecuaciones 6 y 7 de nuevo para obtener la fuerza por el peso del talud. Y se toma el diez por ciento del valor de la Ecuación 5 y se la coloca como una fuerza horizontal.

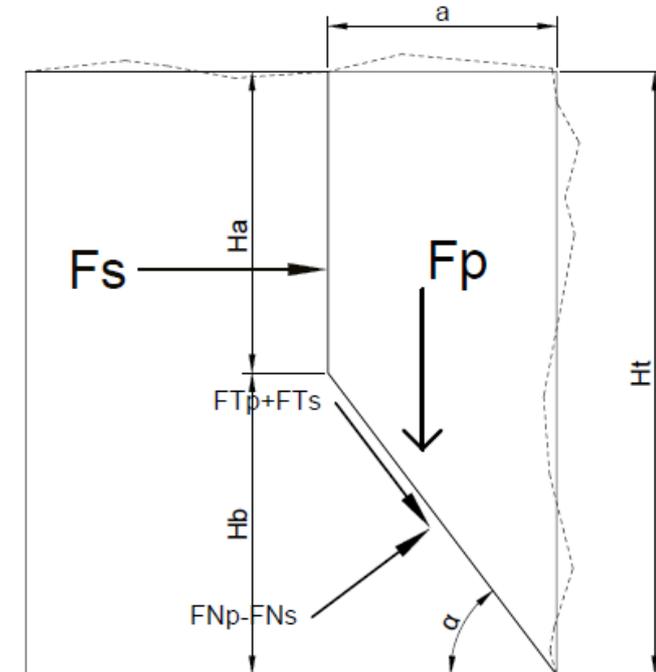


Ilustración 13 Gráfica modelo del peso más sismo

$$F_s = F_p * 0.10 [N]$$

Ecuación 12 Fuerza debido al sismo

$$F_{Ns} = F_s * \text{SEN}(\alpha)$$

Ecuación 13 Fuerza Normal del sismo

$$F_{Ts} = F_s * \text{COS}(\alpha)$$

Ecuación 14 Fuerza Cortante del sismo

$$\sigma_N = \frac{FNp - FNs}{\left(\frac{H_b * P}{\text{SEN}(\alpha)}\right)}$$

Ecuación 15 Esfuerzo Normal Para el peso más sismo

$$\tau = \frac{FTp + FTs}{\left(\frac{H_b * P}{\text{SEN}(\alpha)}\right)}$$

Ecuación 16 Esfuerzo Cortante Para el Peso más sismo

Donde:

F_s : Fuerza del Sismo

FN_s : Fuerza Normal del Sismo

FT_s Fuerza Cortante del Sismo

Para calcular la fuerza resistiva se vuelve a utilizar la fórmula de la Ecuación 10

Con los nuevos datos obtenidos del esfuerzo normal. Para verificar la falla se utiliza la Ecuación 11 con los nuevos esfuerzos cortantes.

2.3.1.3 Cálculos Con De Limite De Equilibrio Con El Peso Más La

Presión Del Agua Filtrada.

En el modelo se tomó en cuenta la infiltración de agua en las grietas pre falla. Por lo tanto, se toma una presión hidrostática que va apoyar a las fuerzas cortantes que provocan la falla del talud.

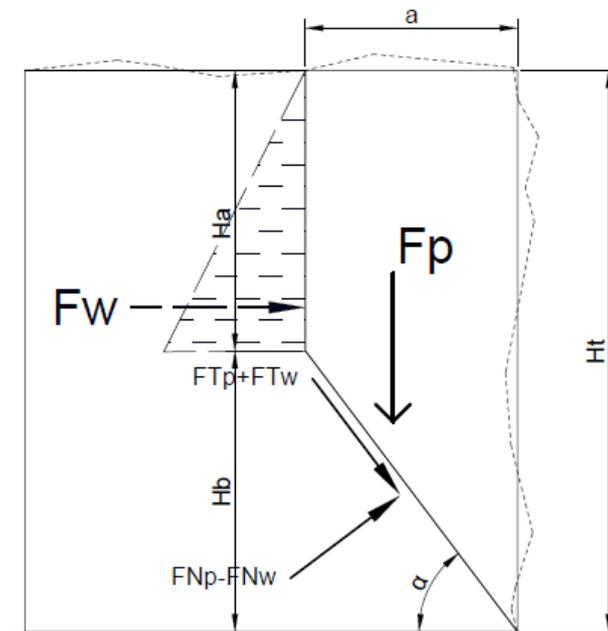


Ilustración 14 Gráfica modelo del peso más fuerza hidrostática

$$F_w = \frac{dw * 9807 * H_a^2}{2}$$

Ecuación 17 Fuerza hidrostática

$$F_{Nw} = F_w * \text{SEN}(\alpha)$$

Ecuación 18 Fuerza normal hidrostática

$$FTw = Fw * \text{COS}(\alpha)$$

Ecuación 19 Fuerza cortante hidrostática

$$\sigma_N = \frac{FNp - FNw}{\left(\frac{H_b * P}{\text{SEN}(\alpha)}\right)}$$

Ecuación 20 Esfuerzo Normal Para el peso más hidrostática

$$\tau = \frac{FTp + FTw}{\left(\frac{H_b * P}{\text{SEN}(\alpha)}\right)}$$

Ecuación 21 Esfuerzo Cortante Para el Peso más hidrostática

Donde:

dw : Densidad del agua.

Fw : Fuerza Hidrostática.

FNw : Fuerza normal hidrostática.

FTw : Fuerza cortante hidrostática.

Se utiliza la fórmula de la Ecuación 10 tomando en cuenta los datos obtenidos con esta combinación. Para comprobar la falla se utiliza la Ecuación 11 con los nuevos esfuerzos cortantes.

2.3.1.4 Cálculos Con De Limite De Equilibrio Con El Peso Más Sismo y Más La Presión Del Agua Filtrada.

Como ultima combinación se utiliza los 3 casos anteriores. Suponiendo que afectar a la masa de tierra al mismo tiempo por lo cual utilizamos las Ecuaciones 6, 7, 13, 14, 18, 19. Obteniendo las fuerzas de Peso, Sismo e Hidrostática por lo cual se procede a calcular los nuevos esfuerzos normales y cortantes. Y del mismo modo obtener la fuerza

cortante resistiva con la Ecuación 10 y verificar la falla con la ecuación del factor de seguridad (Ecuación 11).

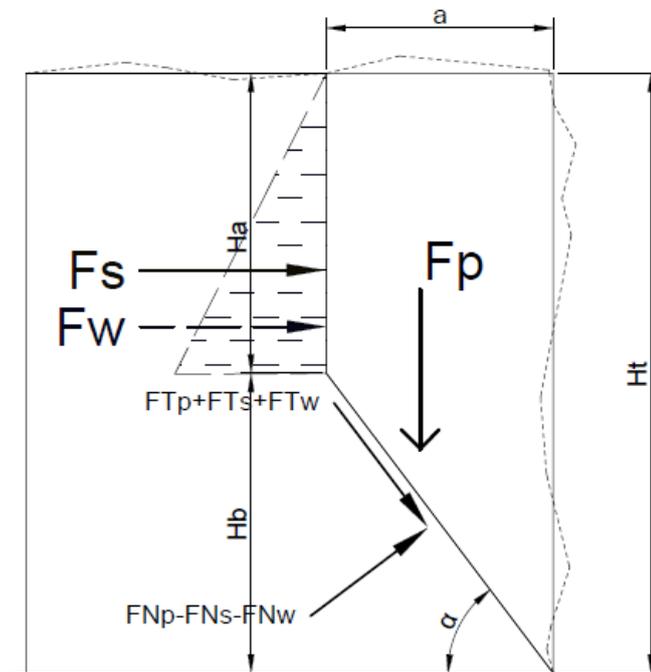


Ilustración 15 Gráfica modelo del peso más sismo más fuerza hidrostática

$$\sigma_N = \frac{FNp - FNs - FNw}{\left(\frac{H_b * P}{\text{SEN}(\alpha)}\right)}$$

Ecuación 22 Esfuerzo Normal para todos los casos anteriores

$$\tau = \frac{FTp + FTs + FTw}{\left(\frac{H_b * P}{\text{SEN}(\alpha)}\right)}$$

Ecuación 23 Esfuerzo Cortante para todos los casos anteriores

2.3.2 Resumen De Cálculos Realizados.

Con la hoja de cálculo realizada se pueden ingresar nuevos taludes. Para lo cual se necesita ingresar los datos geométricos, densidad del suelo a realizar, además de un ensayo triaxial CU (Ensayos con consolidación previa y rotura no drenada) obtener tanto la cohesión y el ángulo interno de fricción. Y comprobar si bajo las condiciones antes presentadas el talud puede fallar según el cálculo del factor de seguridad.

2.3.2.1 Talud 1.



Ilustración 16 Superficie de falla Talud 1

Datos	
Altura Total [m]	8.00
Altura Ha [m]	5.50
Altura Hb [m]	2.50
Ancho [m]	2.00
Angulo De Falla [°]	51.34
Volumen Total	67.50
Peso [N]	1125353.25
Fuerza del agua [N]	741654.38
Fuerza del Sismo [N]	112535.33

Tabla 2 Datos Del Iniciales Talud 1

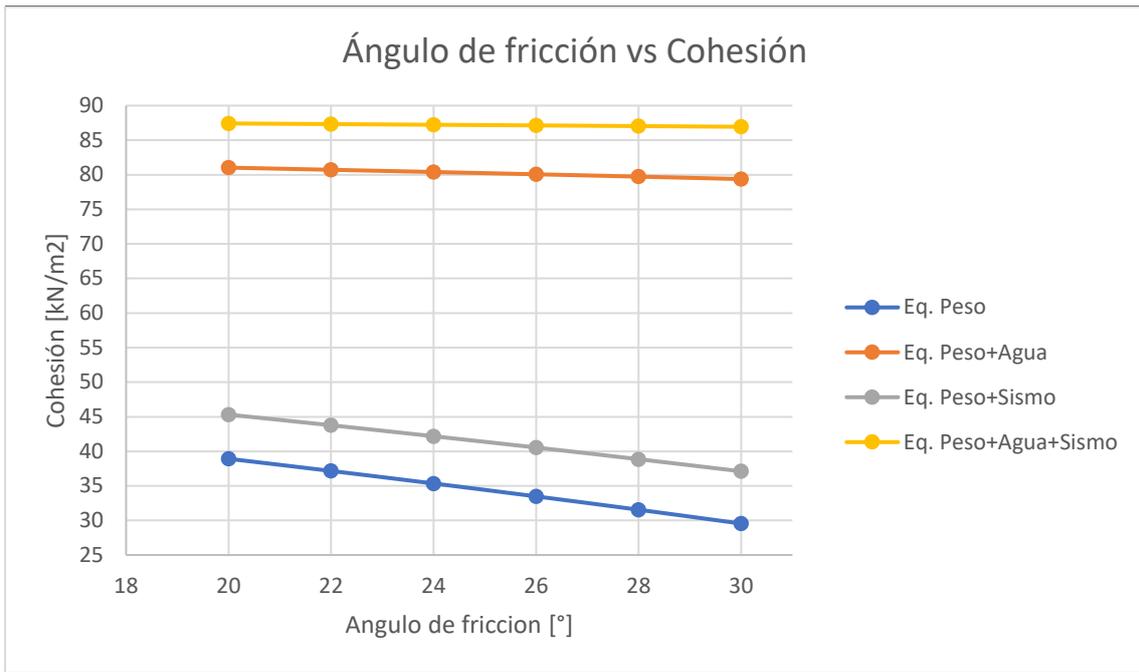


Ilustración 17 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 1

2.3.2.2 **Talud 2.**

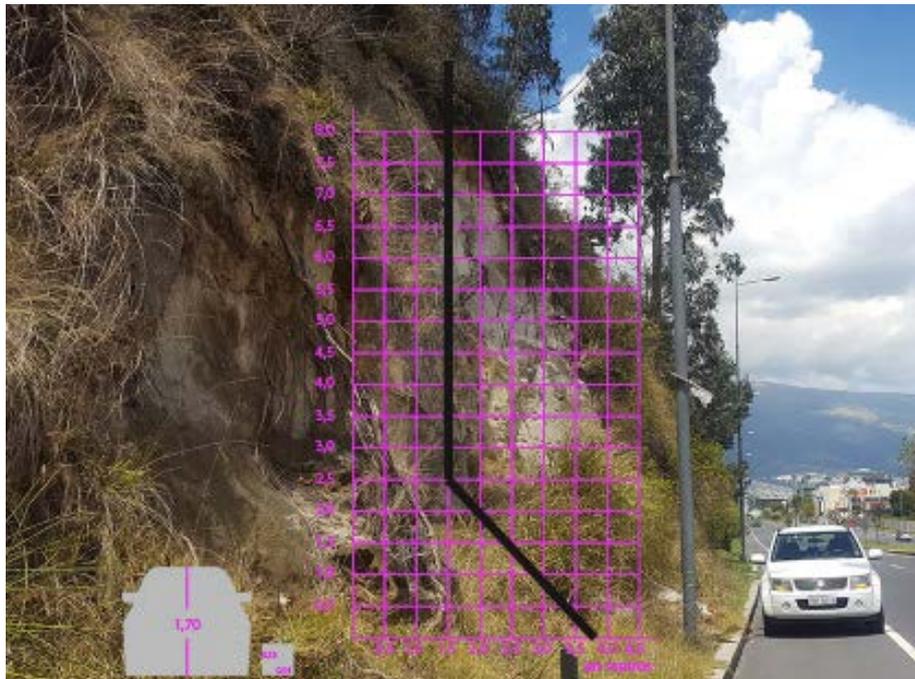


Ilustración 18 Superficie de falla Talud 2

Datos	
Altura Total [m]	9.00
Altura Ha [m]	5.50
Altura Hb [m]	3.50
Ancho [m]	2.30
Angulo De Falla [°]	56.69
Volumen Total	100.05
Peso [N]	1668023.60
Fuerza del agua [N]	889985.25
Fuerza del Sismo [N]	166802.36

Tabla 3 Datos Iniciales Del Talud 2

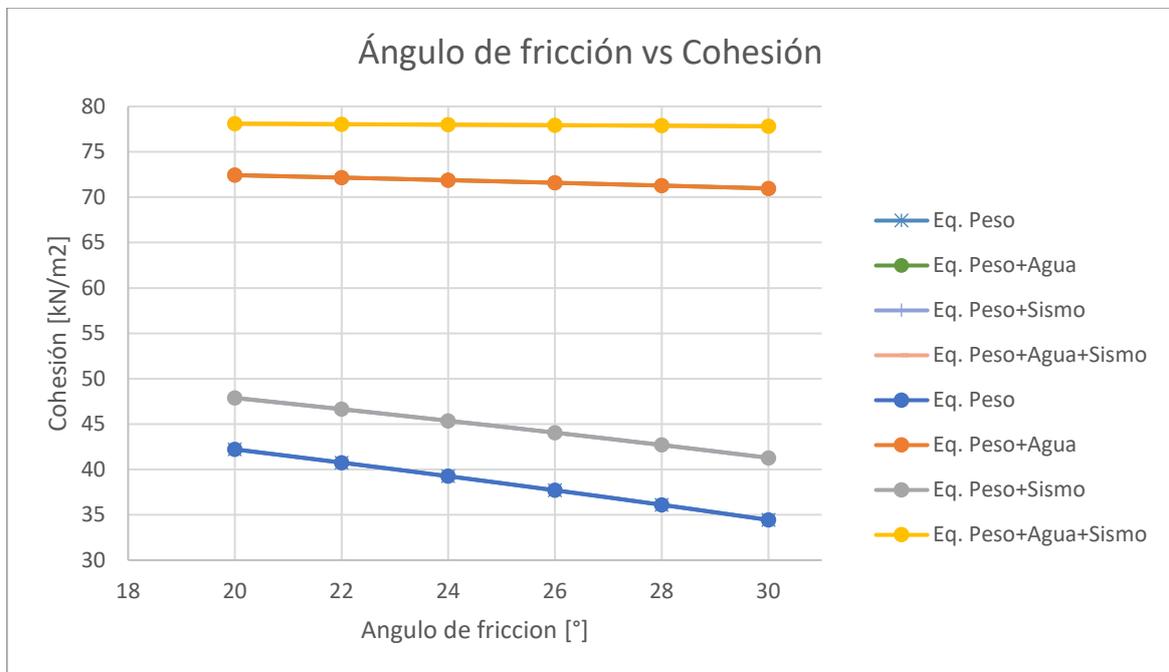


Ilustración 19 Gráfico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 2

2.3.2.3 Talud 3.



Ilustración 20 Superficie de falla Talud 3

Datos	
Altura Total [m]	8.00
Altura Ha [m]	5.50
Altura Hb [m]	2.50
Ancho [m]	2.30
Angulo De Falla [°]	47.39
Volumen Total	62.10
Peso [N]	1035324.99
Fuerza del agua [N]	593323.50
Fuerza del Sismo [N]	103532.50

Tabla 4 Datos Iniciales Del Talud 3

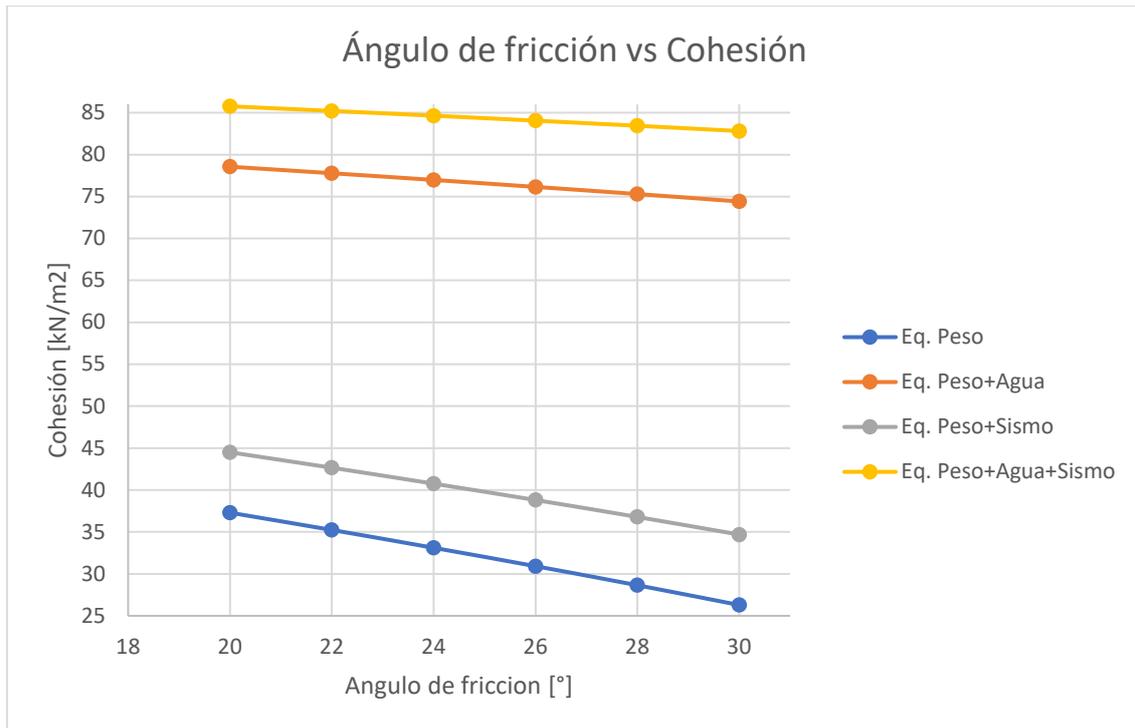


Ilustración 21 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 3

2.3.2.4 Talud 4.

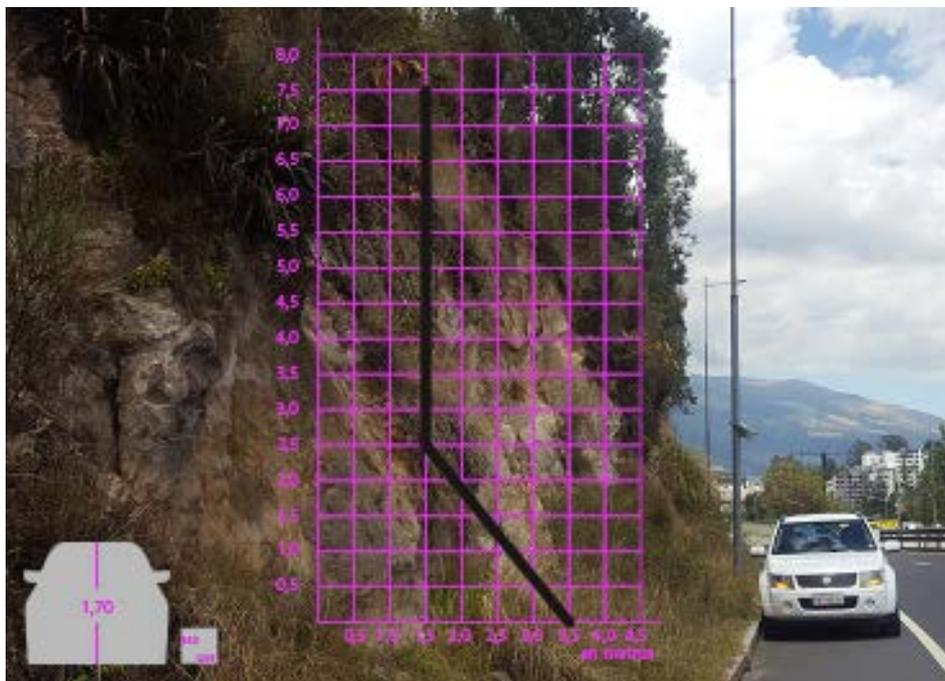


Ilustración 22 Superficie de falla Talud 4

Datos	
Altura Total [m]	7.50
Altura Ha [m]	5.00
Altura Hb [m]	2.50
Ancho [m]	2.00
Angulo De Falla [°]	51.34
Volumen Total	62.50
Peso [N]	1041993.75
Fuerza del agua [N]	612937.50
Fuerza del Sismo [N]	104199.38

Tabla 5 Datos Iniciales Del Talud 4

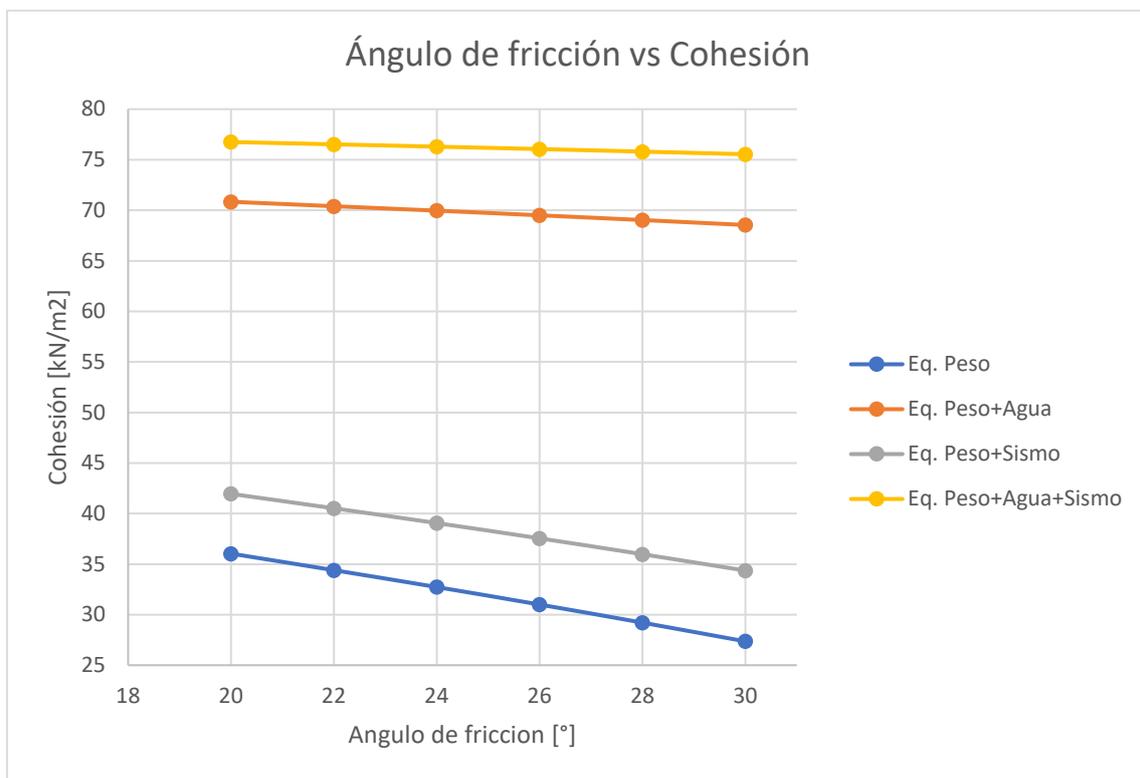


Ilustración 23 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 4

2.3.2.5 Talud 5.



Ilustración 24 Superficie de falla Talud 5

Datos	
Altura Total [m]	5.50
Altura Ha [m]	3.50
Altura Hb [m]	2.00
Ancho [m]	1.70
Angulo De Falla [°]	49.64
Volumen Total	38.25
Peso [N]	637700.18
Fuerza del agua [N]	300339.38
Fuerza del Sismo [N]	63770.02

Tabla 6 Datos Iniciales Del Talud 5

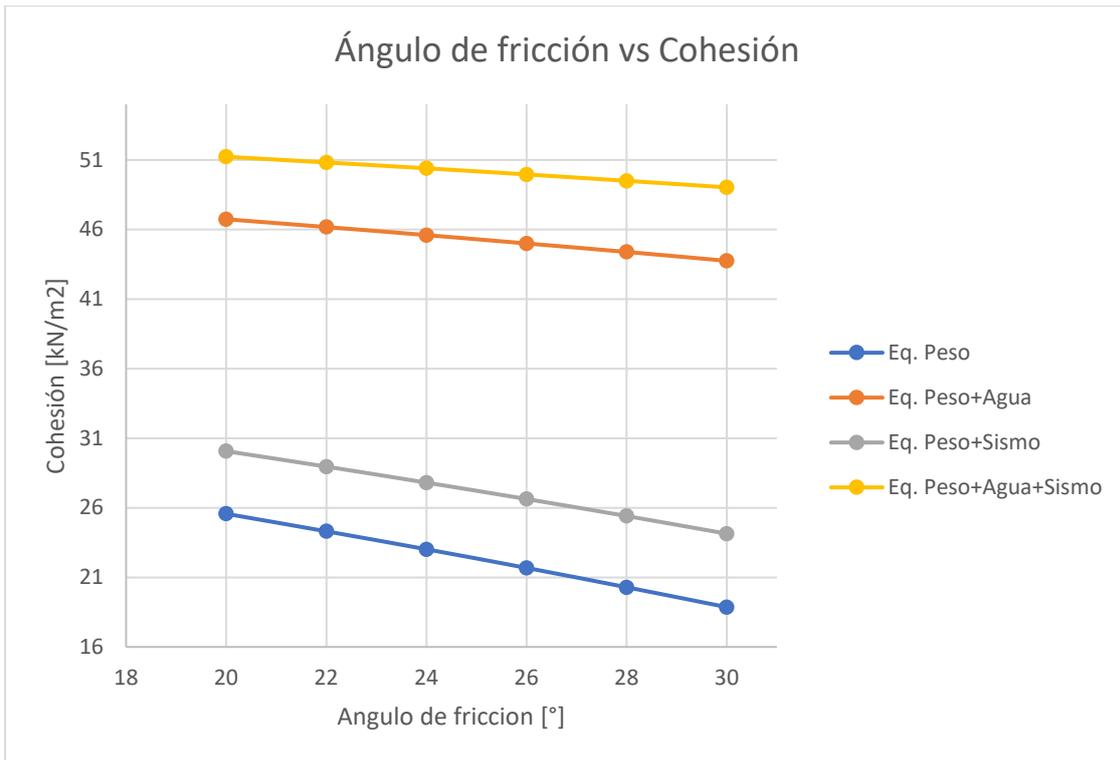


Ilustración 25 Gráfico Ángulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 5

2.3.2.6 Talud 6.



Ilustración 26 Superficie de falla Talud 6

Datos	
Altura Total [m]	6.00
Altura Ha [m]	3.00
Altura Hb [m]	3.00
Ancho [m]	2.00
Angulo De Falla [°]	56.31
Volumen Total	18.00
Peso [N]	750235.50
Fuerza del agua [N]	220657.50
Fuerza del Sismo [N]	75023.55

Tabla 7 Datos Iniciales Del Talud 6

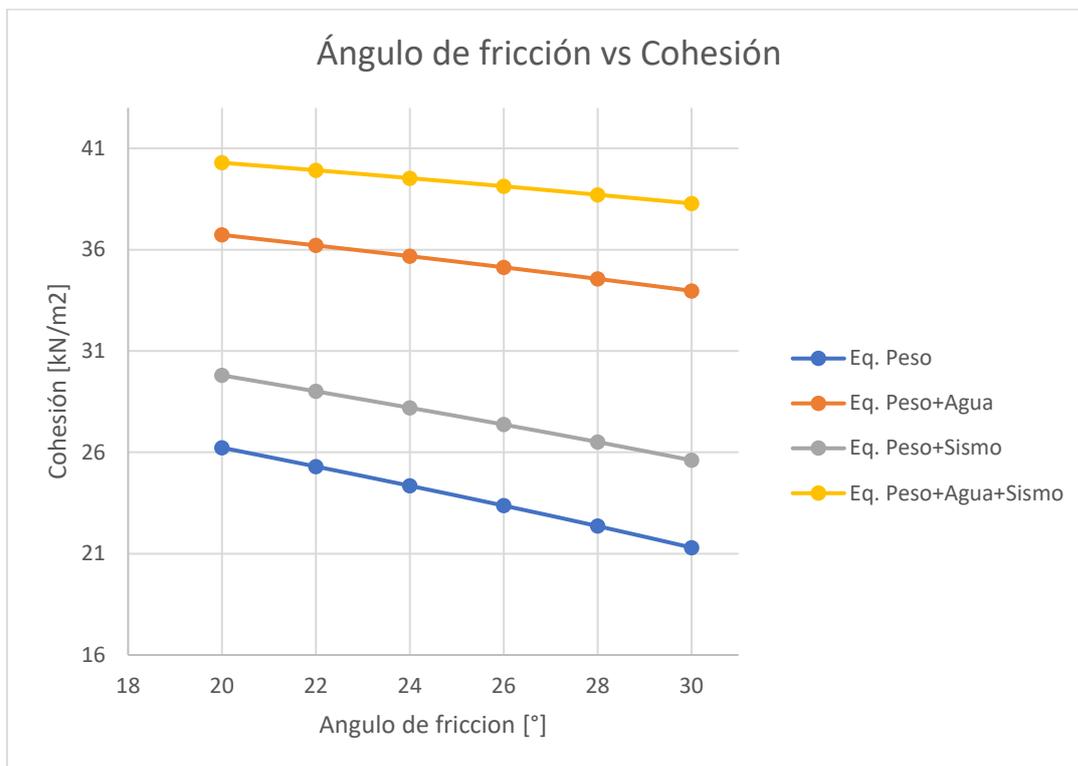


Ilustración 27 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 6

2.3.2.7 Talud 7.

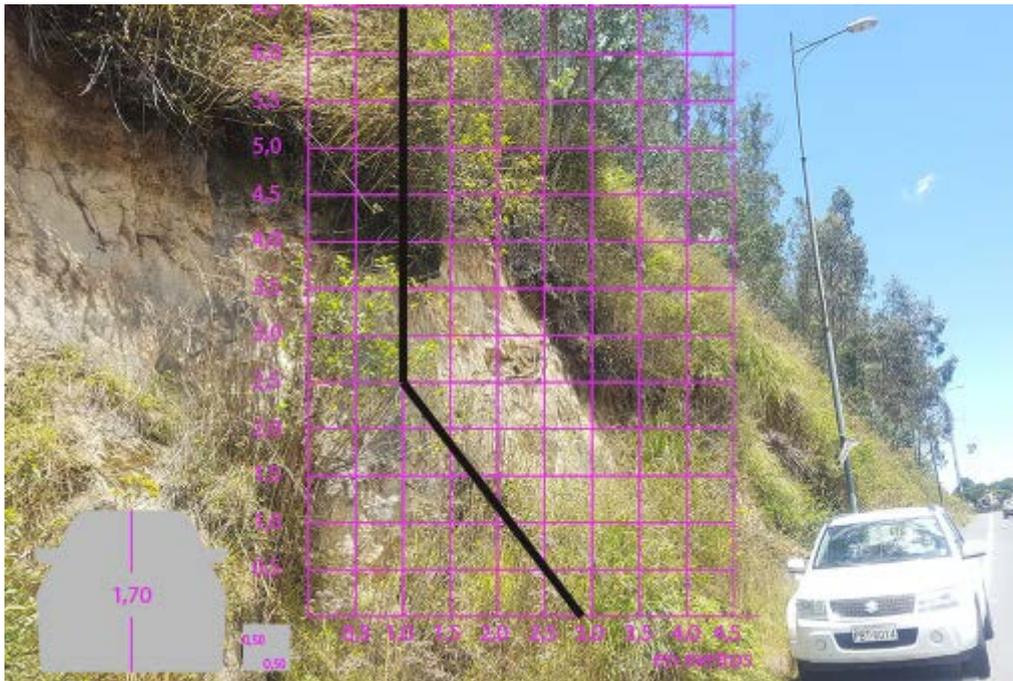


Ilustración 28 Superficie de falla Talud 7

Datos	
Altura Total [m]	6.50
Altura Ha [m]	4.00
Altura Hb [m]	2.50
Ancho [m]	1.90
Angulo De Falla [°]	52.77
Volumen Total	39.90
Peso [N]	665208.81
Fuerza del agua [N]	313824.00
Fuerza del Sismo [N]	66520.88

Tabla 8 Datos Iniciales Del Talud 7

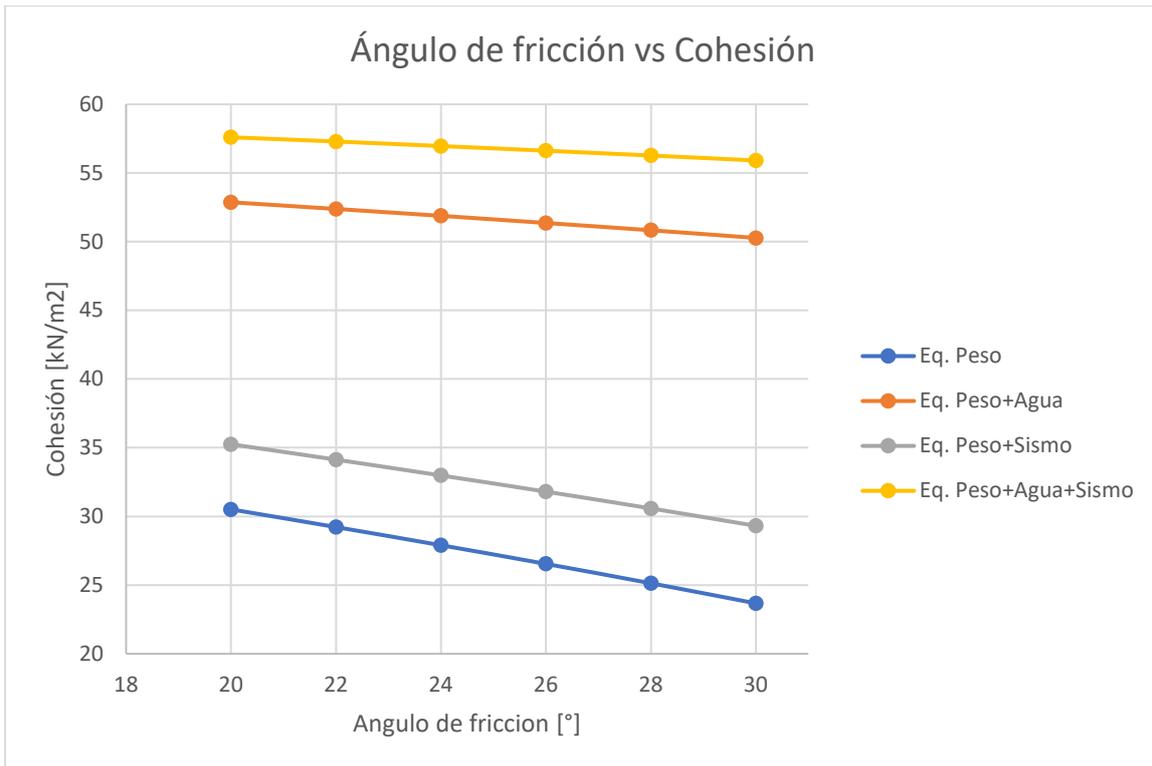


Ilustración 29 Gráfico Ángulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 7

2.3.2.8 Talud 8.

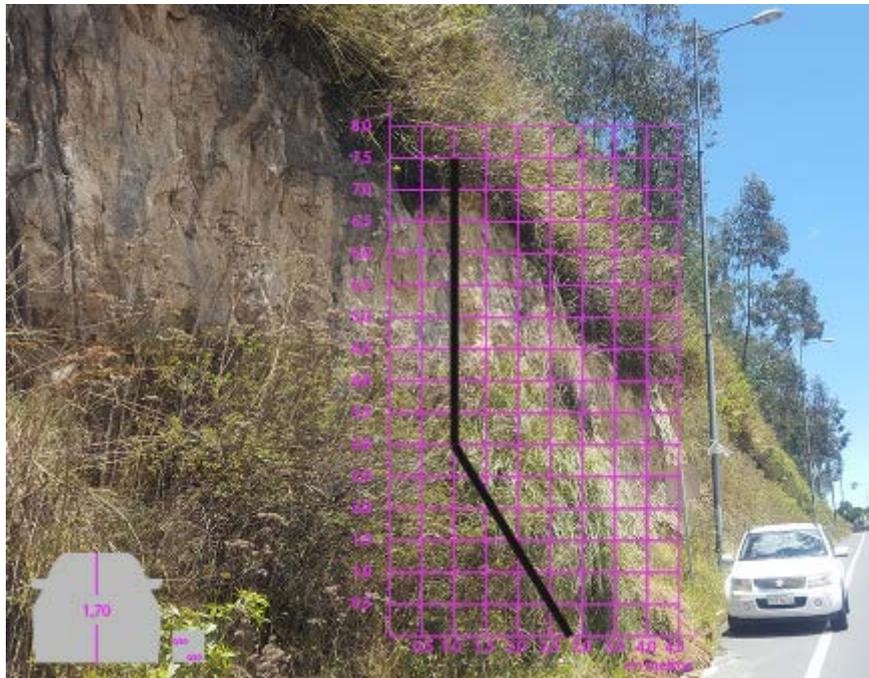


Ilustración 30 Superficie de falla Talud 8

Datos	
Altura Total [m]	6.50
Altura Ha [m]	4.00
Altura Hb [m]	2.50
Ancho [m]	1.90
Angulo De Falla [°]	57.65
Volumen Total	57.00
Peso [N]	950298.30
Fuerza del agua [N]	496479.38
Fuerza del Sismo [N]	95029.83

Tabla 9 Datos Iniciales Del Talud 8

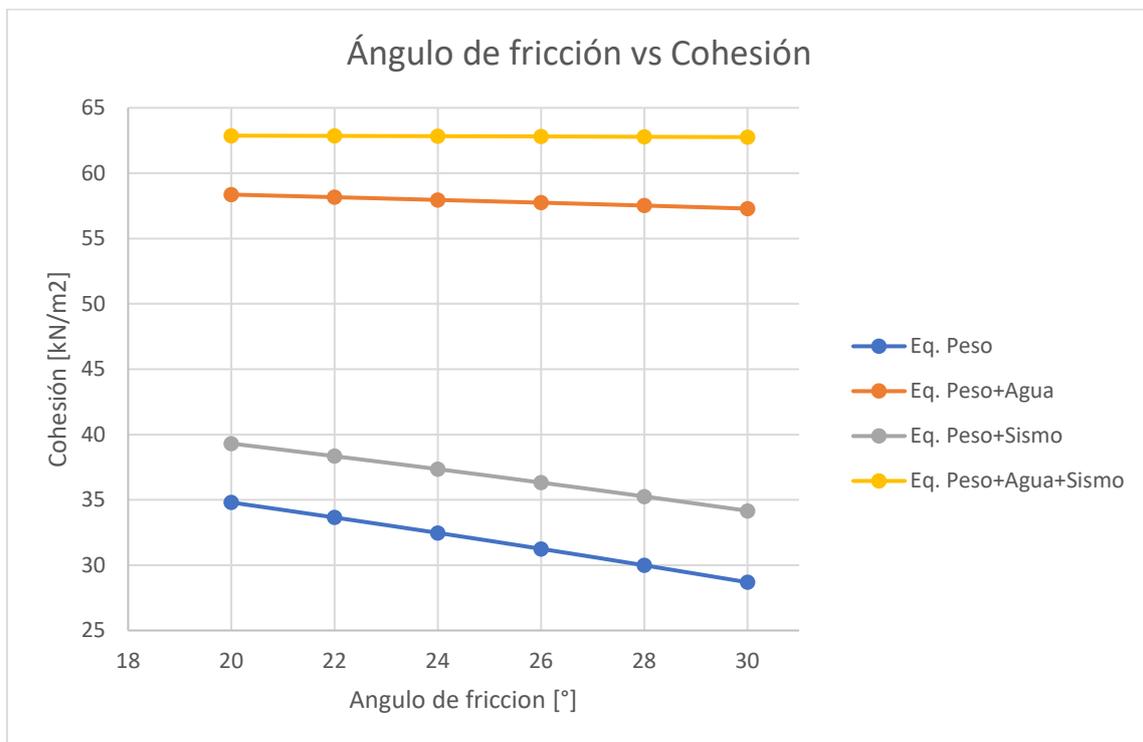


Ilustración 31 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 8

2.3.2.9 Talud 9.

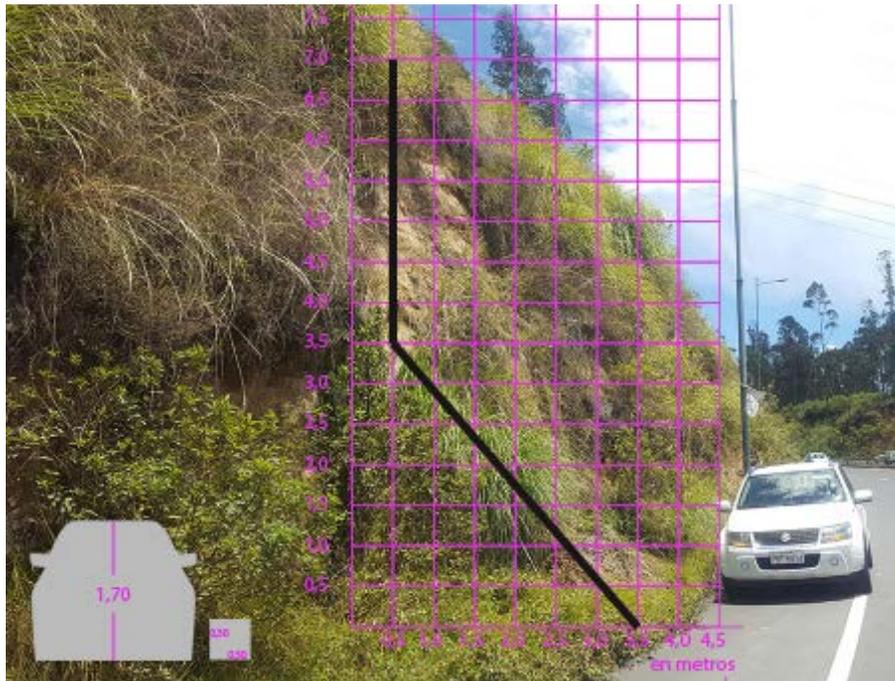


Ilustración 32 Superficie de falla Talud 9

Datos	
Altura Total [m]	7.00
Altura Ha [m]	3.50
Altura Hb [m]	3.50
Ancho [m]	3.00
Angulo De Falla [°]	49.40
Volumen Total	78.75
Peso [N]	1312912.13
Fuerza del agua [N]	300339.38
Fuerza del Sismo [N]	131291.21

Tabla 10 Datos Iniciales Del Talud 9

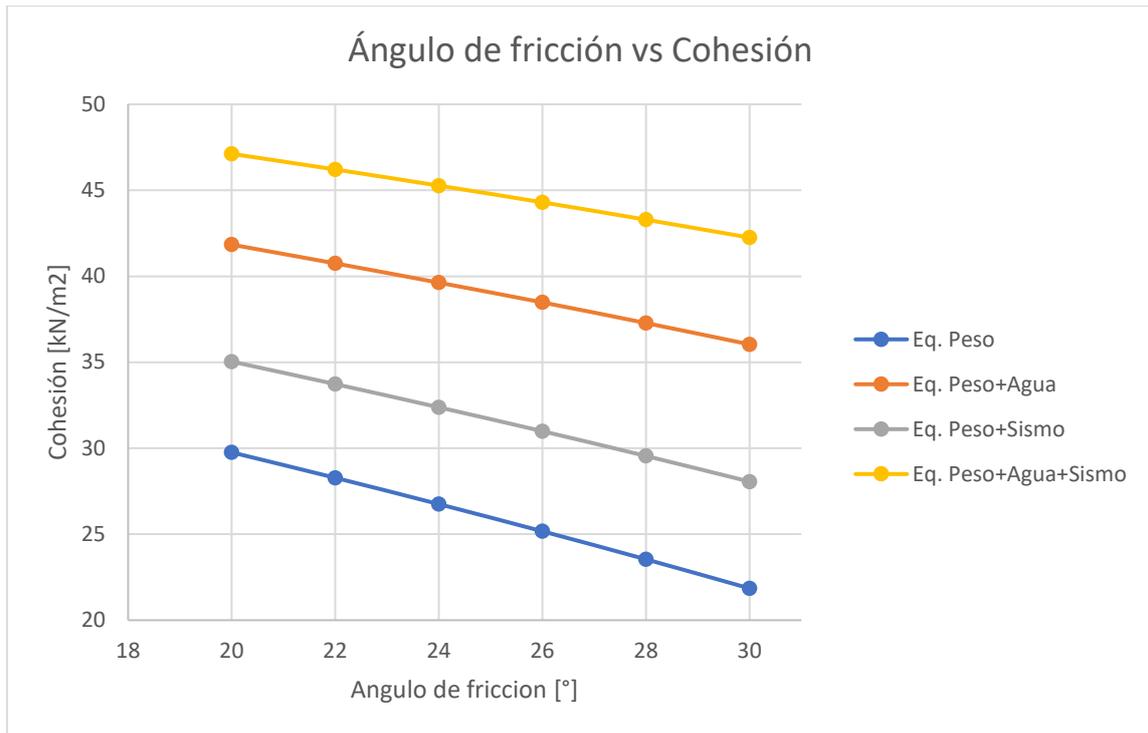
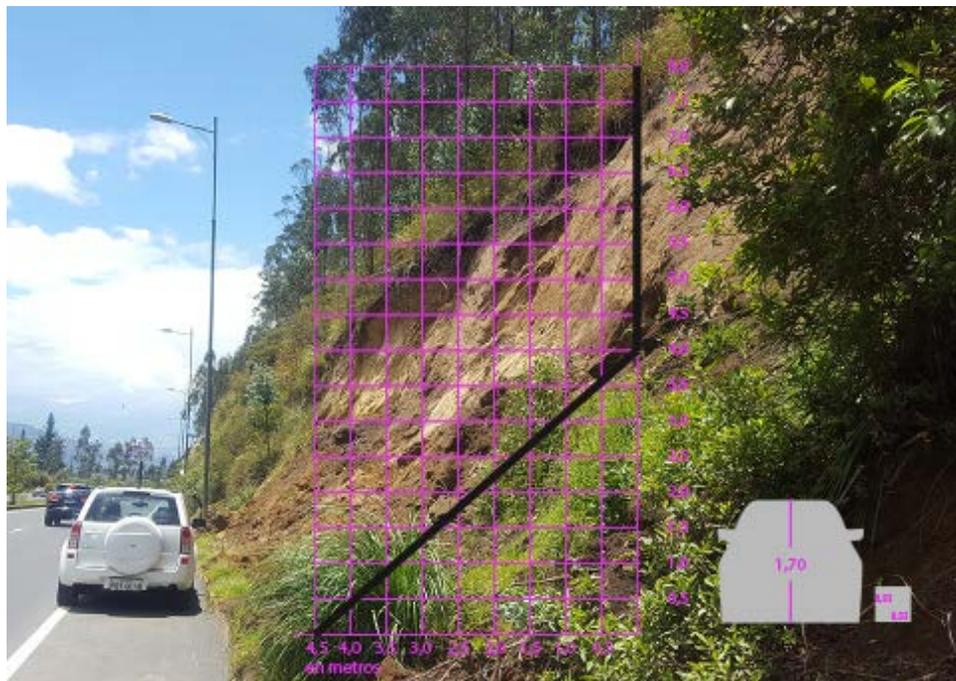


Ilustración 33 Gráfico Ángulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 9

2.3.2.10 Talud 10.



Datos	
Altura Total [m]	8.00
Altura Ha [m]	4.00
Altura Hb [m]	4.00
Ancho [m]	4.50
Angulo De Falla [°]	41.63
Volumen Total	270.00
Peso [N]	4501413.00
Fuerza del agua [N]	784560.00
Fuerza del Sismo [N]	450141.30

Tabla 11 Datos Iniciales Del Talud 10

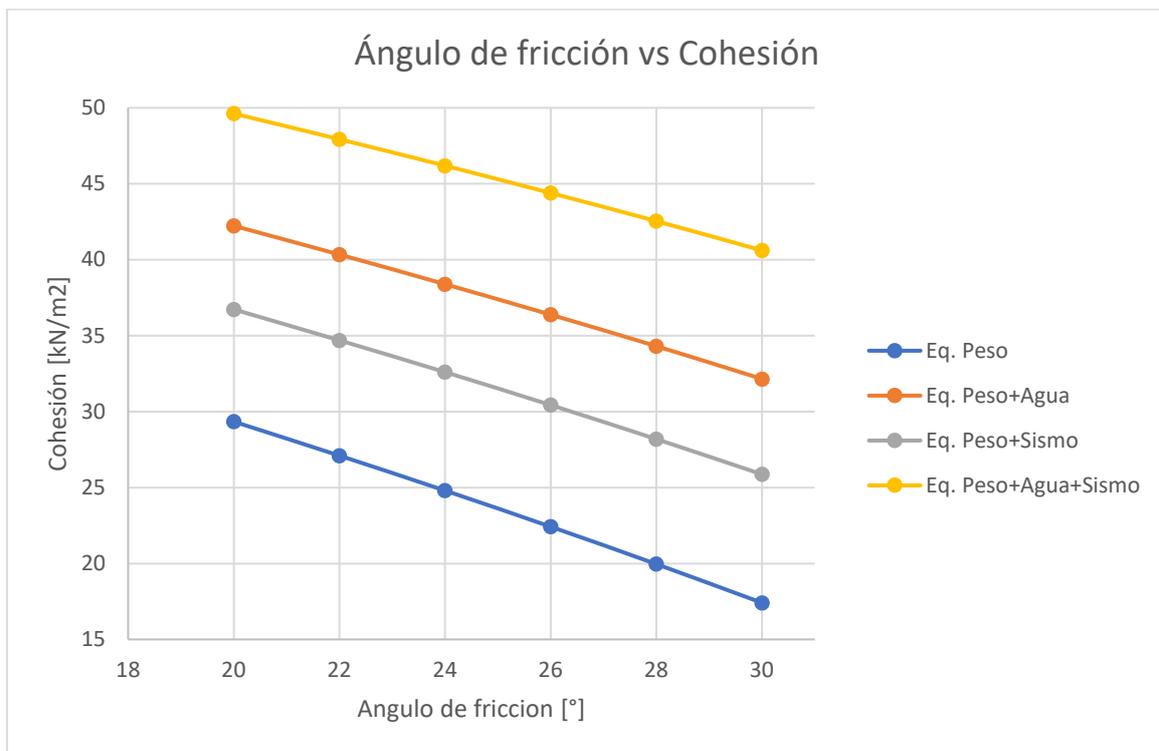


Ilustración 35 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 10

2.3.2.11 Talud 11.

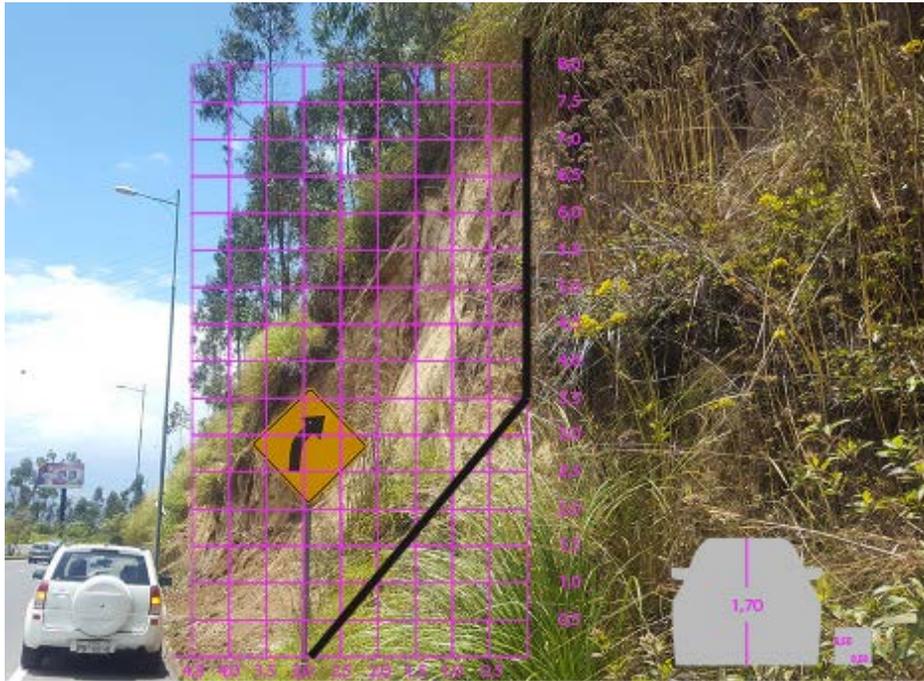


Ilustración 36 Superficie de falla Talud 11

Datos	
Altura Total [m]	8.50
Altura Ha [m]	5.00
Altura Hb [m]	3.50
Ancho [m]	2.70
Angulo De Falla [°]	52.35
Volumen Total	270.00
Peso [N]	1519226.89
Fuerza del agua [N]	612937.50
Fuerza del Sismo [N]	151922.69

Tabla 12 Datos Iniciales Del Talud 11

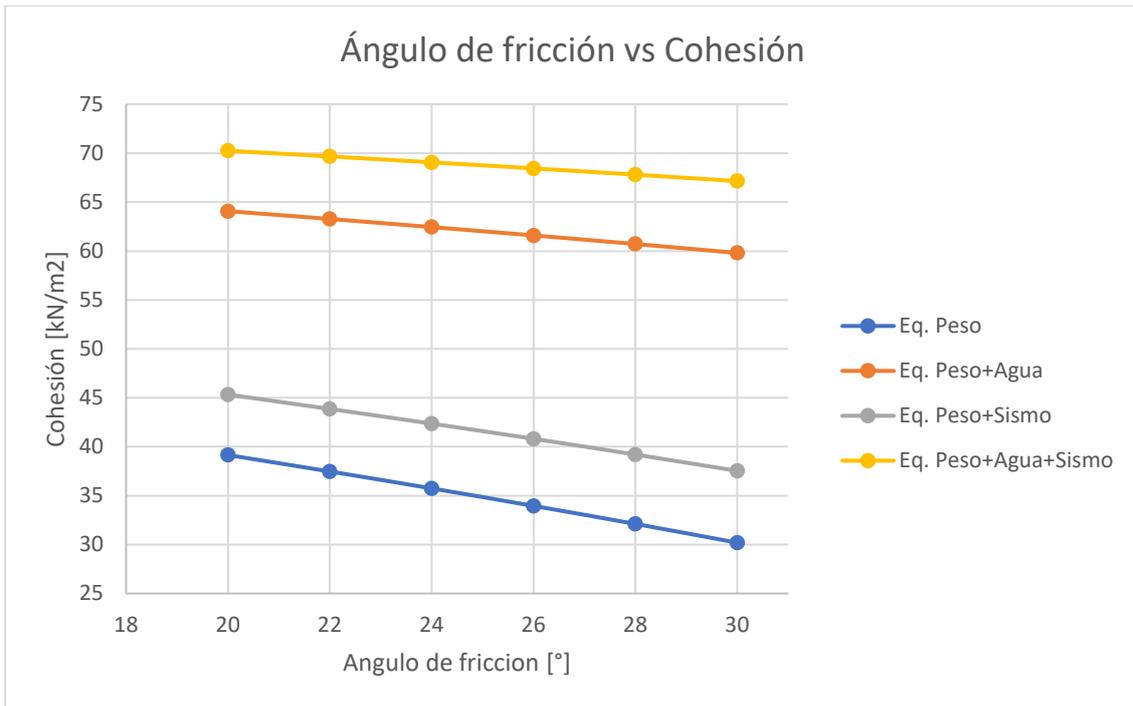


Ilustración 37 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 11

2.3.2.12 Talud 12.

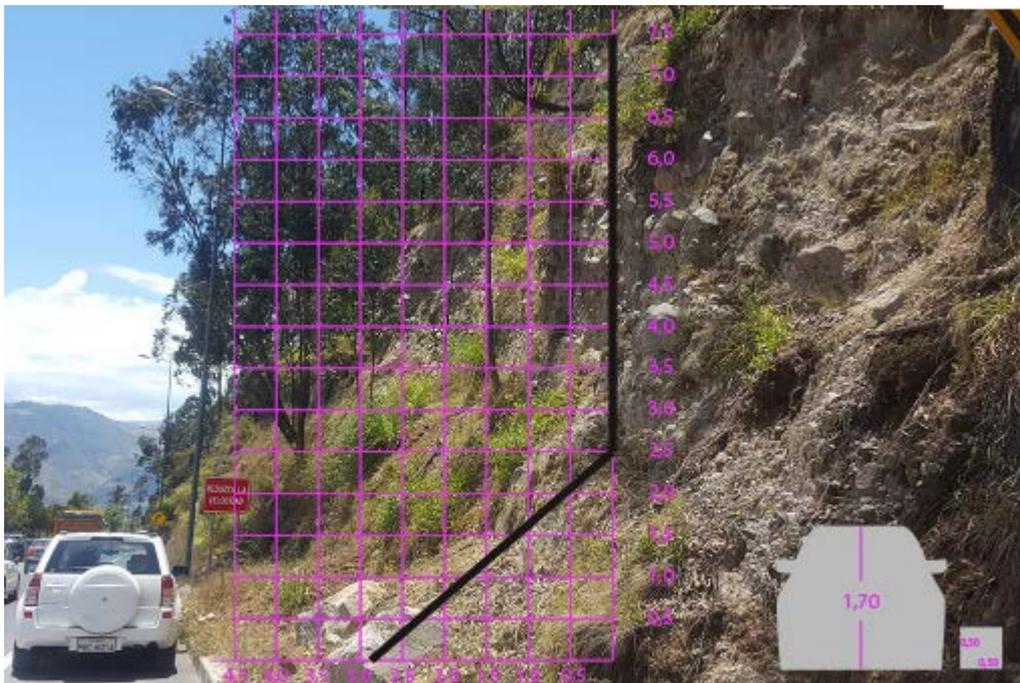


Ilustración 38 Superficie de falla Talud 12

Datos	
Altura Total [m]	7.50
Altura Ha [m]	5.00
Altura Hb [m]	2.50
Ancho [m]	2.70
Angulo De Falla [°]	42.80
Volumen Total	67.50
Peso [N]	1125353.25
Fuerza del agua [N]	490350.00
Fuerza del Sismo [N]	112535.33

Tabla 13 Datos Iniciales Del Talud 12

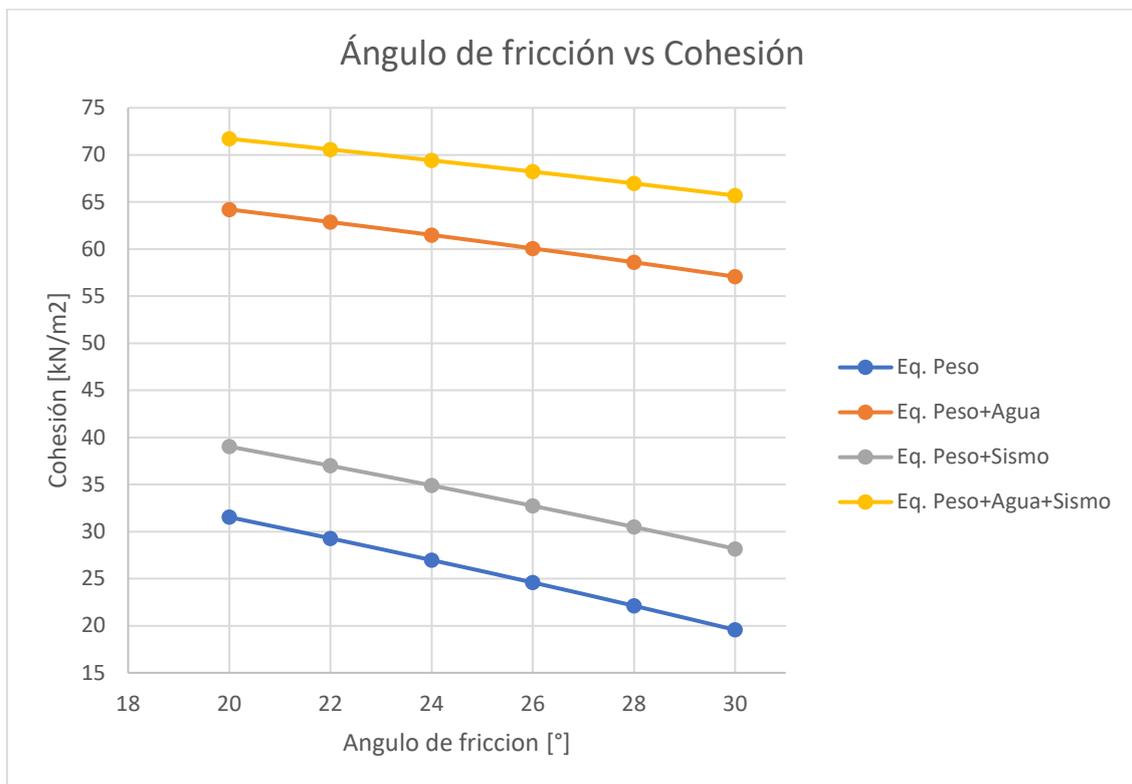


Ilustración 39 Grafico Angulo de Fricción vs. Cohesión, Talud 12

2.3.3 Relaciones De Angulo Interno Y Alturas De Taludes Con La Cohesión.

En la siguiente sección se demostró las relaciones que existen entre la cohesión y el ángulo de fricción interno respecto a la altura total del talud o respecto a la altura H_a del modelo propuesto.

2.3.3.1 Altura Total.

- Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso.

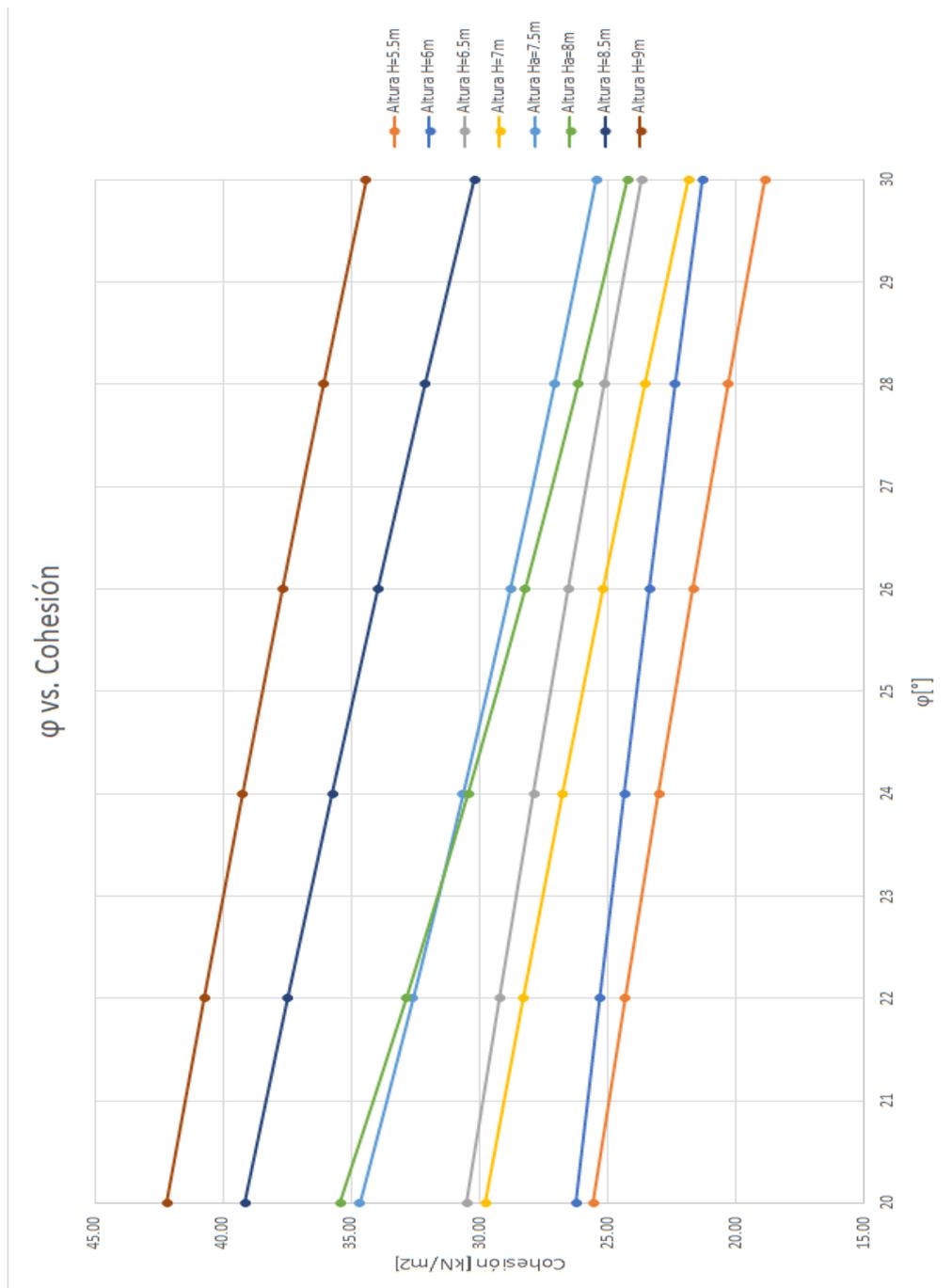


Ilustración 40 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso

- Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más sismo.

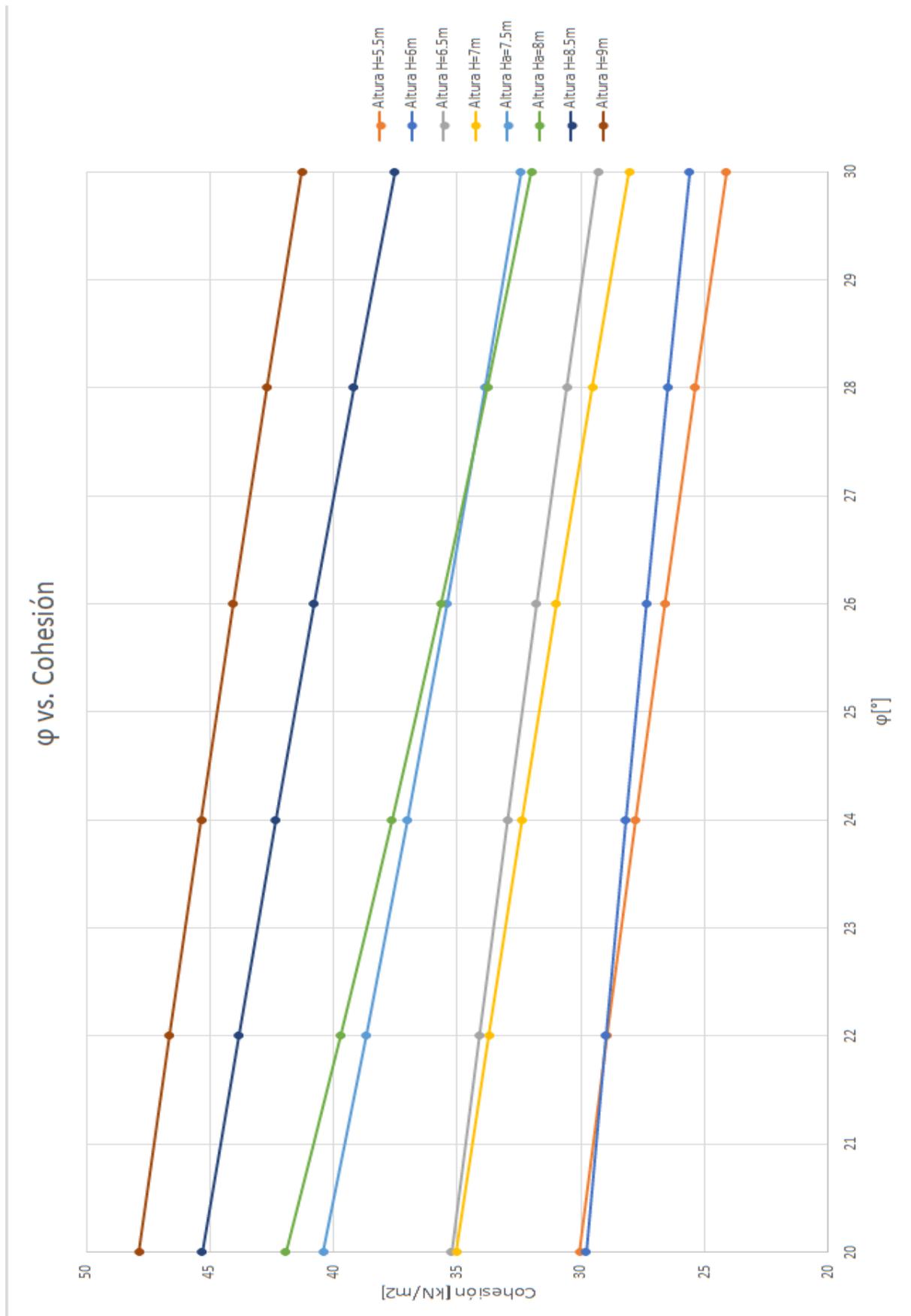


Ilustración 41 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más sismo

- **Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más hidrostática.**

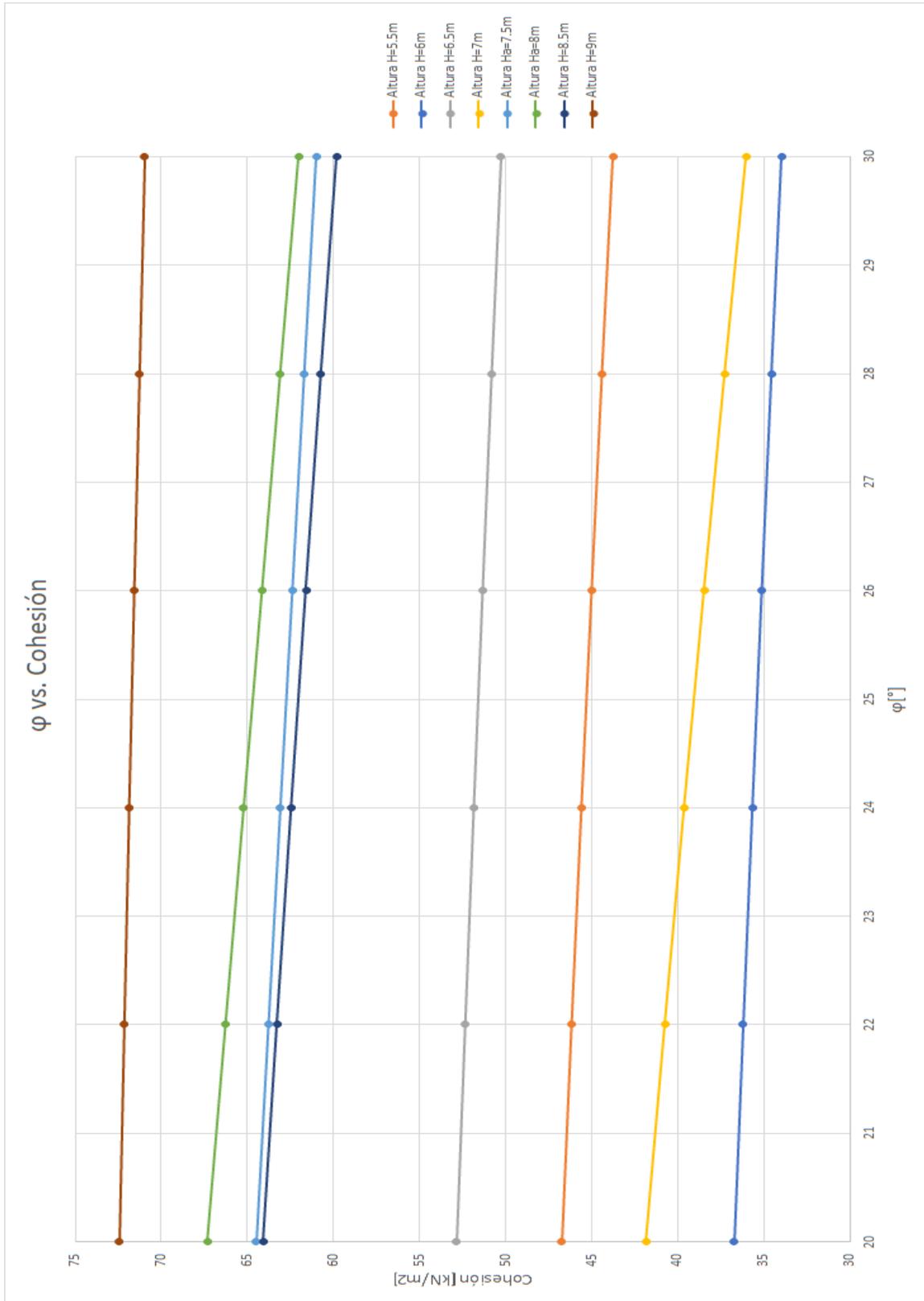


Ilustración 42 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más hidrostática

- **Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más sismo más hidrostática.**

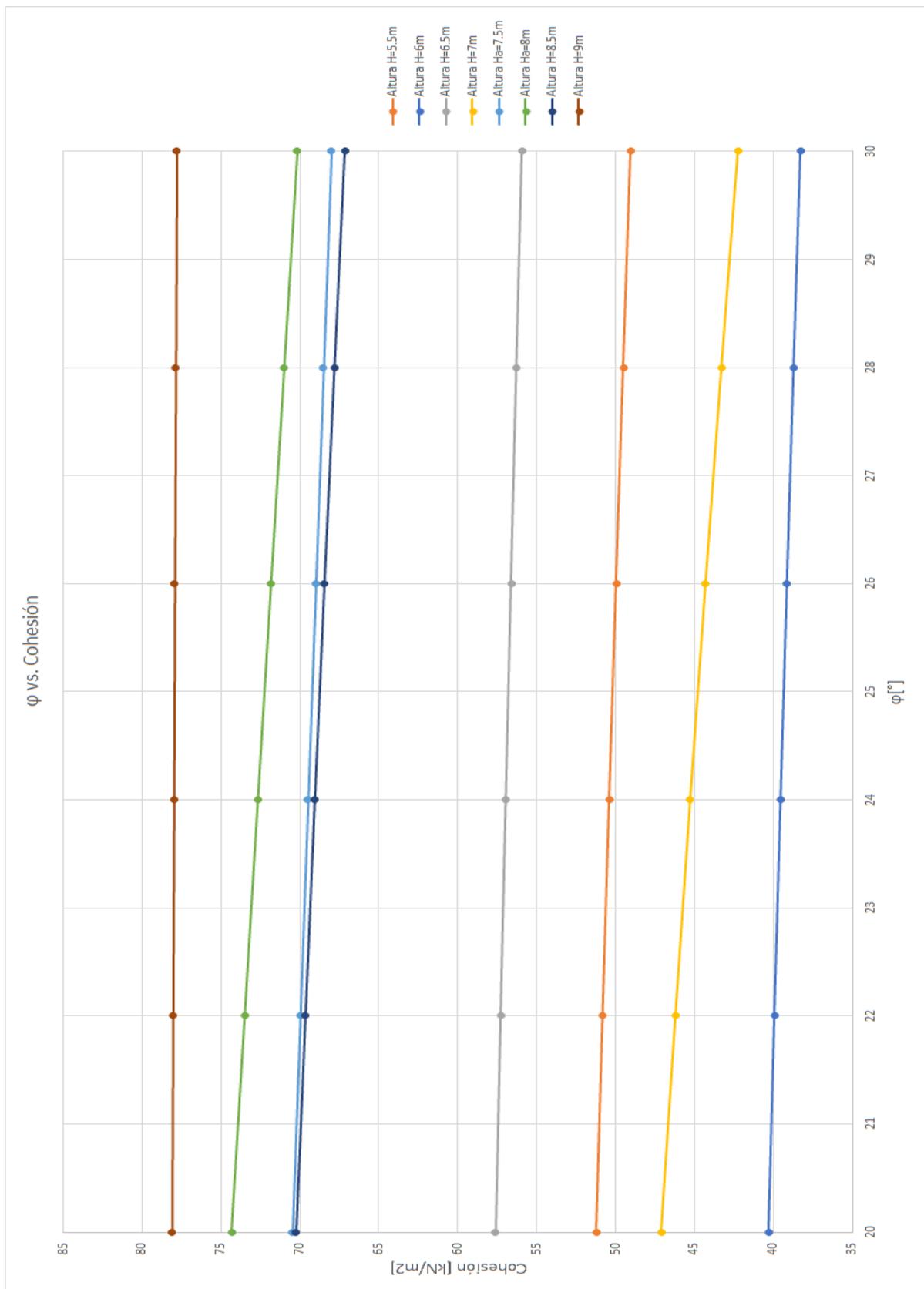


Ilustración 43 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más sismo más hidrostática

2.3.3.2 *Altura Ha.*

- Clasificación por alturas H_a y Cohesión dada por el peso.

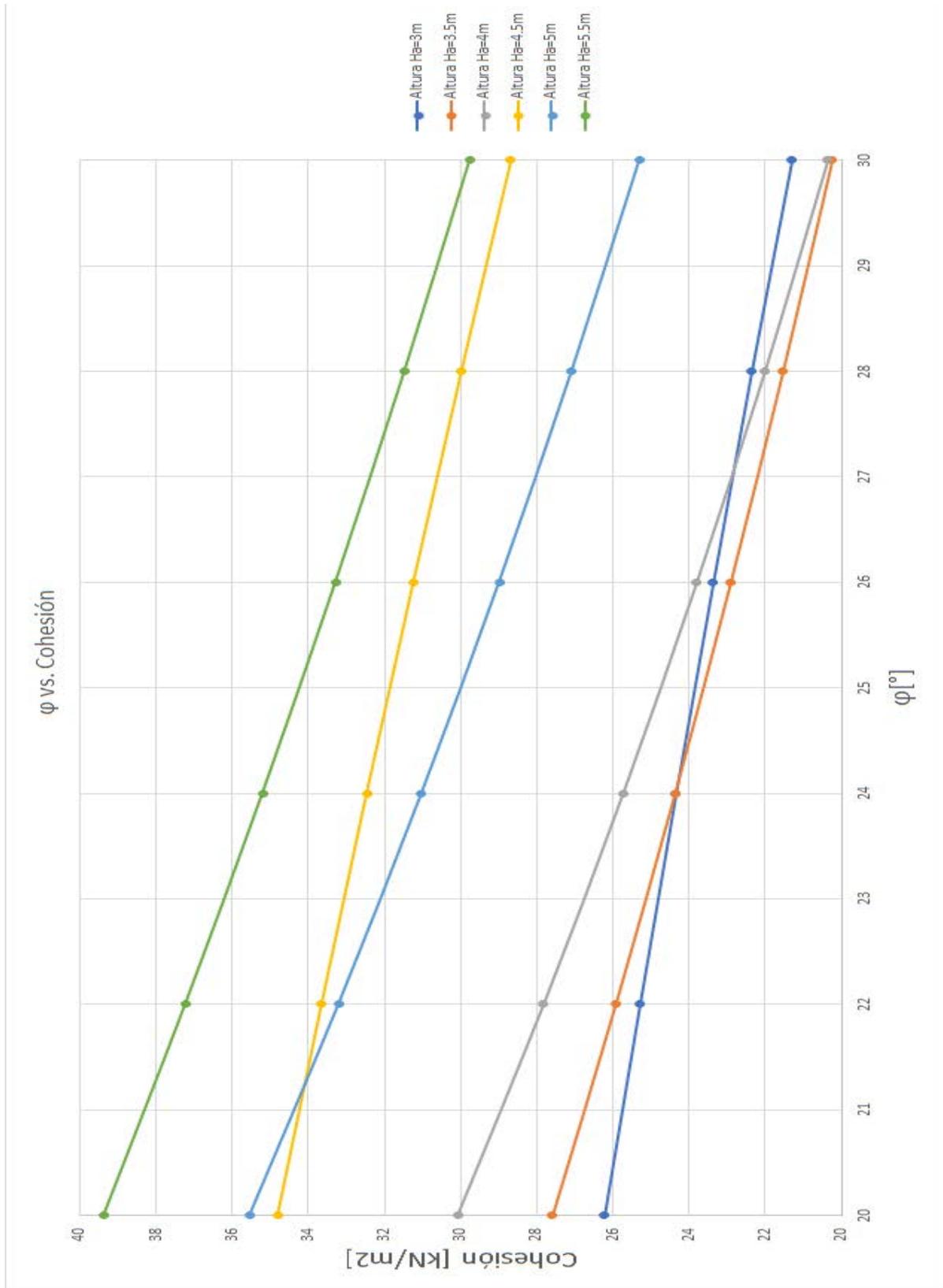


Ilustración 44 Clasificación por alturas H_a y Cohesión dada por el peso.

- Clasificación por alturas H_a y Cohesión dada por el peso más sismo.

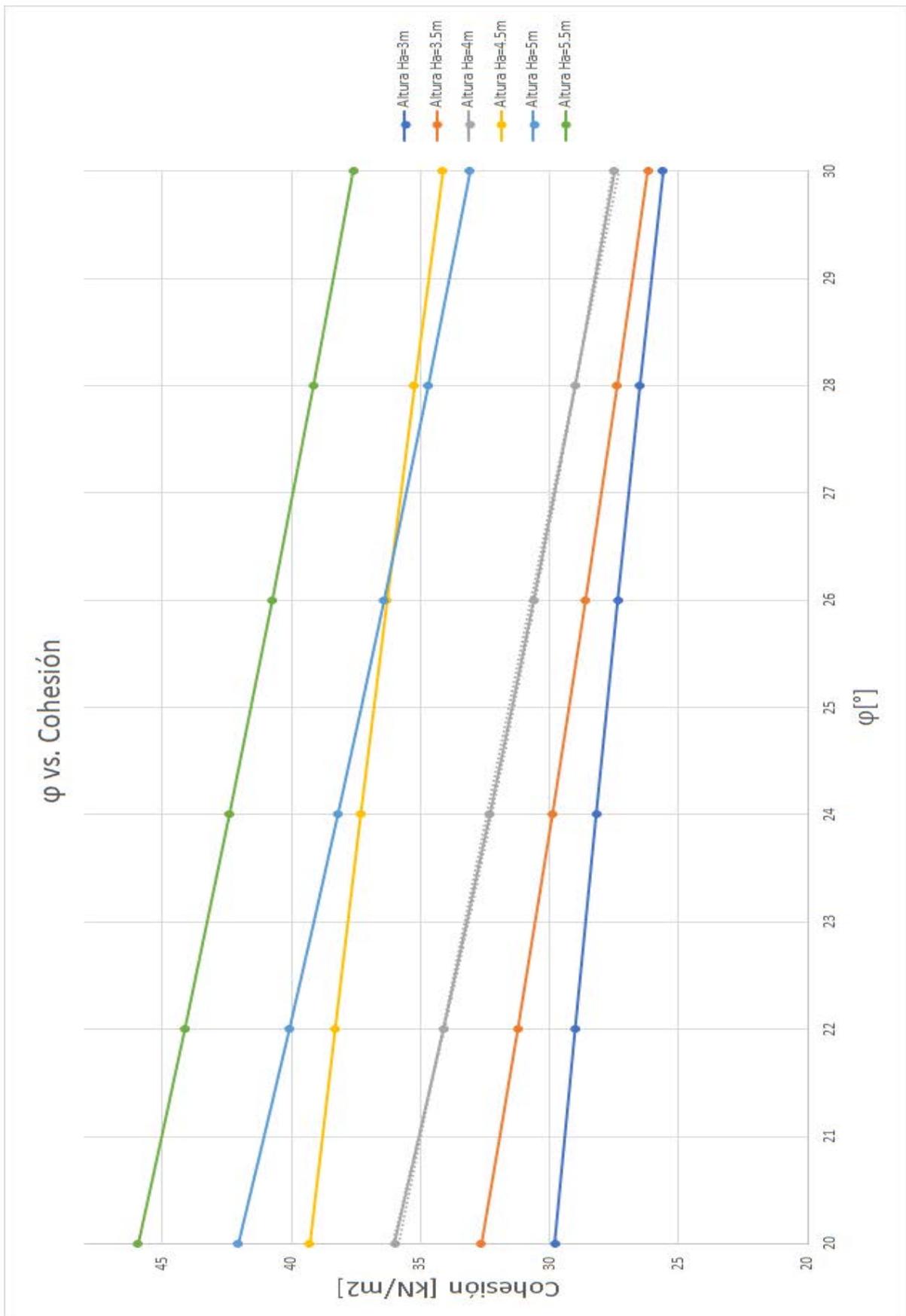


Ilustración 45 Clasificación por alturas H_a y Cohesión dada por el peso más sismo.

- Clasificación por alturas H_a y Cohesión dada por el peso más hidrostática.

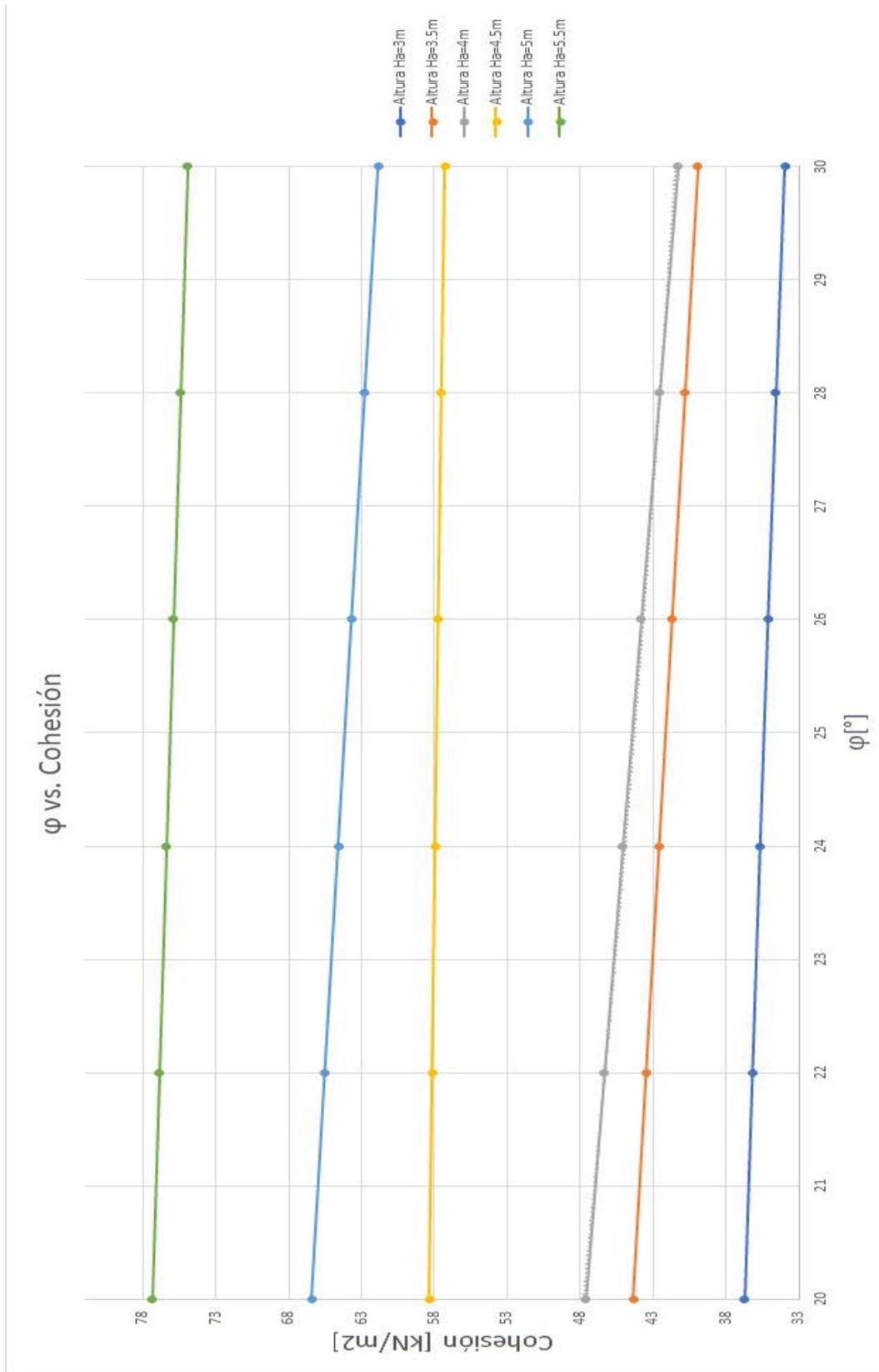


Ilustración 46 Clasificación por alturas H_a y Cohesión dada por el peso más hidrostática.

- Clasificación por alturas H_a y Cohesión dada por el peso más sismo más hidrostática.

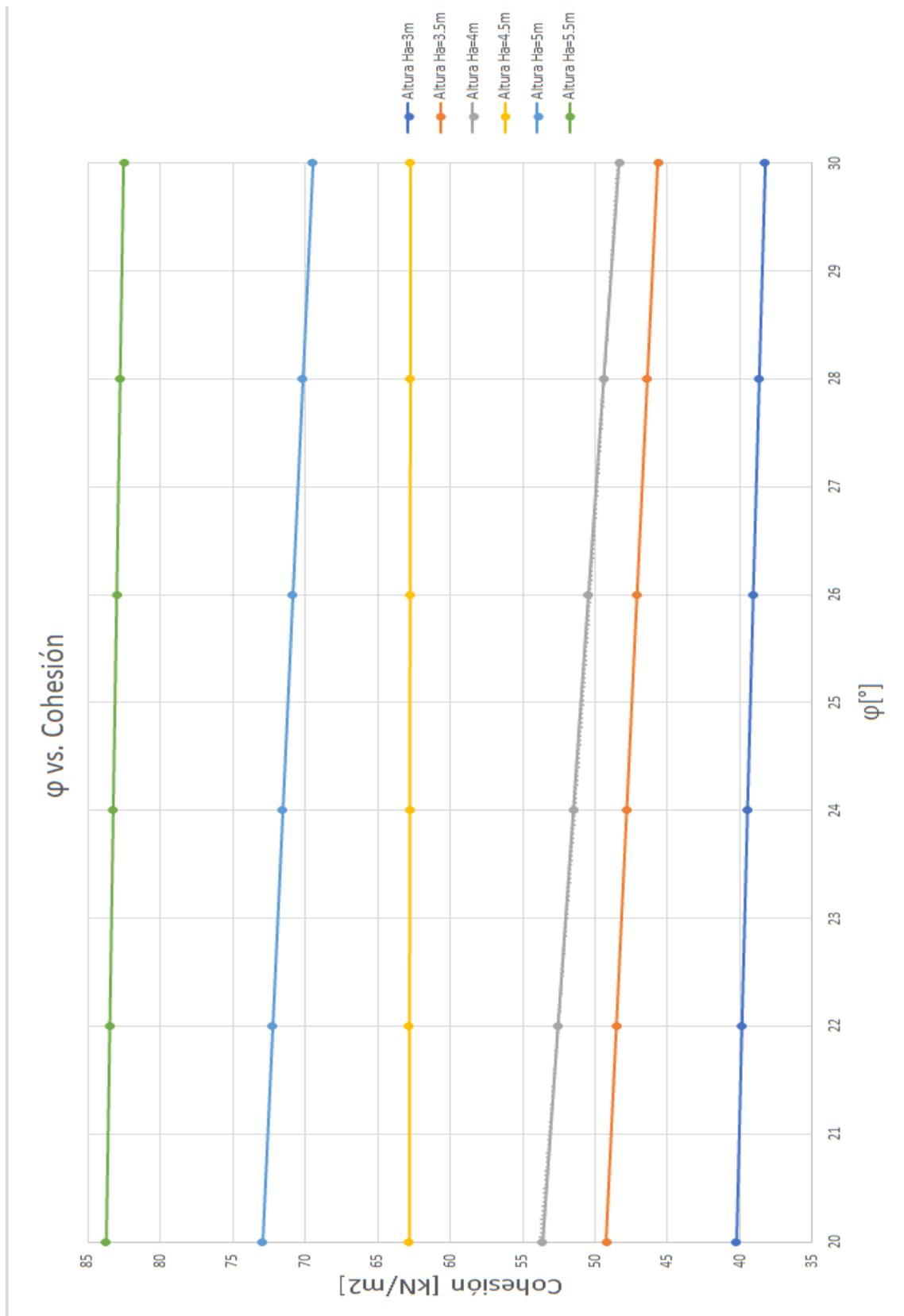


Ilustración 47 Clasificación por alturas H_a y Cohesión dada por el peso más sismo más hidrostática.

3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En conclusión, todos los taludes se ajustan al comportamiento observado en el modelo propuesto en base a las dos variables el ángulo de fricción interna y la cohesión. El ángulo de fricción interna está delimitado por el tipo de suelo que tenemos en la zona de estudio. Por lo que se procedió a realizar iteraciones con la finalidad de que el factor de seguridad sea igual a uno y en las iteraciones se graficó todos los datos obtenidos y se vio que la relación del ángulo interno era el esperado con respecto a la cohesión, mientras se incrementa el ángulo de fricción interna las cohesiones tienen a disminuir.

El comportamiento de casi todos los taludes es similar. En las combinaciones en las cuales se incluía la fuerza hidrostática se puede ver que la cohesión tiene una pequeña relación con el ángulo de fricción interna comparado con la influencia de esta en las combinaciones de sismo o de peso. Se pueden notar que dos taludes no cumplen con este comportamiento. Lo que les diferencia de los demás taludes es que sus alturas H_a y H_b son iguales y además que los anchos de la cuña son más grandes con los demás taludes. Se puede comprobar que entre más masa de tierra se esté deslizando su ángulo interno es mucho más influyente en su la falla del talud. Entonces se puede concluir que mientras el talud tenga poca masa su falla no va depender en gran medida del ángulo de fricción si no totalmente de la cohesión del suelo.

En las gráficas de ϕ vs. Cohesión según la altura tanto total como H_a se pueden ver que las gráficas tienen el mismo comportamiento. A pesar que en los dos casos se clasificó a los taludes según su altura. Y por lo tanto tienen diferentes combinaciones de taludes en base a su altura en ambos casos. También se vio que, en las combinaciones de peso, peso más sismo para sacar una media entre los taludes de la misma altura se utilizó una regresión lineal y en el caso de las combinaciones de peso más agua y peso más sismo

más agua; la línea de tendencia obedecía mejor a una ecuación exponencial. Aunque se tiene que aclarar que con un mínimo margen de error.

Con las tablas de relación mostradas en la presente tesis se puede clasificar a los taludes dependiendo de su altura, dado que por el estudio “The Quito, Ecuador, Earthquake Risk Management Project” y a la microzonificación sísmica de los suelos del distrito metropolitano de la ciudad de Quito se conoce que tipo de suelo y que área abarca ese suelo. Por lo tanto, se puede saber si varios tipos de taludes a lo largo de la zona de estudio pueden ser casos para ser tratados y realizar una estabilización previa y así poder evitar la problemática que motivo esta tesis: los deslizamientos en la Simón Bolívar.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Almaguer-Carmenates, Y., & Guardado-Lacaba, R. (2006). TIPOLOGIA DE MOVIMIENTOS DE MASAS DESARROLLADOS EN EL TERRITORIO DE MOA, CUBA. *Minería y Geología*, 22. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223517653001>
- Alonso, E. (2005). VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. *PRÁMETROS DE RESISTENCIA EN CÁLCULOS DE ESTABILIDAD* (págs. 1-65). Valencia, España: Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica.
- Bateman, A., Medina, M., Steiner, F., & Velasco, D. (2006). Estudio Experimental sobre flujos granulares hiperconcentrados. *XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, (págs. 1-10). Ciudad Guayana, Venezuela.
- Braja Das, M. (1999). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. England: Thomson Learning.
- Brunsdén, D. (2002). Geomorphological roulette for engineers and planners: some insights into a old game. *Quart. J. of Eng. Geol.*, 101-142.
- Cruden, D. (1991). A simple Definition of a Landslide Bulletin of the International Association of Engineering Geology. *No 43*, pp 27-29.
- Dal-Ré, R. (2001). *Caminos Rurales Proyecto y Construcción*. Madrid: España.
- Das, B. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. D.F, Mexico: Cengage Learning Editores.
- De Matteis, Á. (Agosto de 2003). *Universidad de Rosario*. Obtenido de Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura: <http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>
- Delgado, J., & Godoy, R. (2009). Obtenido de OCW Universidad de Málaga: https://ocw.uma.es/ciencias-sociales-y-juridicas/elaboracion-de-cartografia-fisica-elemental-3/Material_de_clase/OCW_Tema_5_Mapa_Litologia.pdf
- Errazuriz, A., Cereceda, P., González, J., González, M., Henríquez, M., & Rioseco, R. (1998). Climatología de Chile. En *Manual de Geografía de Chile* (págs. 58-78). Santiago de Chile, Chile: Editorial Andres Bello.
- Escuela Politécnica Nacional, GeoHazard International, Ilustre Municipio de Quito, OBSTOM, Quito, and OYO Corporation. (1994). *The Quito, Ecuador, Earthquake Risk Management Project: An Overview*, 1-45.
- Fredlund, D., & Rahardjo, H. (1987). "Soil mechanics principles for highway engineering in arid regions". En *Soil Mechanics Considerations: Arid and Semiarid Areas*. (págs. 1-11). Transportation research record.
- García Yagüe, A. (Diciembre de 1966). "Contribución para la clasificación de los movimientos del terreno". *Revista de Obras Públicas*, 995-1003.
- García Yagüe, A., & García Álvarez, J. (1988). Clasificación tipológica de los deslizamientos. *Comunicaciones II Simposio sobre Taludes y Laderas*, (págs. 53-64). Andorra la Vella.
- García, Á. (16 de Mayo de 2017). EL Comercio. *Derrumbe y neblina en la av. Simón Bolívar afectan el tránsito en Quito*.
- González, L. (2 de Octubre de 2012). *Universitat Politecnica de Catalunya*. Obtenido de

- https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/17284/TFM_Laura_Gonz%C3%A1lez_CD.pdf
- Hutchinson, J. (1968). Mass Movement. En *Encyclopedia of Geomorphology* (págs. 688-695). Reinhold New York.
- Iriondo, M. (2007). Meteorización. En *Introducción a la Geología* (págs. 73-93). Córdoba, Argentina: Editorial Brujas.
- Iverson, R. (1997). The physics of debris flows. *Reviews of Geophysics*, 245-296.
- Kilburn, C., & Petley, D. (2003). Forecasting giant, catastrophic slope collapse: Lessons From Vajont, northern Italy. *Geomorphology*, 21-32.
- Mothes, P. (1998). Actividad volcánica y pueblos precolombinos en el Ecuador. En *La Arqueología del Valle de Quito* (págs. 73-111). Quito, Ecuador: Ediciones ABYA-YALA.
- Petley, D., Higuchi, T., Petley, D., Bulmer, M., & Carrey, J. (2 de March de 2005). Development of progressive landslide failure in cohesive materials. *Geology*, págs. 201-204.
- Skempton, A. (1964). "Longterm stability of clay slopes". En *Geotechnique* (págs. 77-102).
- Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos*. Bucaramanga: Publicaciones UIS.
- Varnes, D. (1978). Slope Movement types and processes. En R. Schuster, & R. Krizek (Edits.), *Landslides: analysis and control*. Transportation Research Board. (págs. 11-33).
- Wen, B., & Aydın, A. (2005). Mechanism of a rainfall induced slide-debris flow: Constraints from microstructure of its slip zone. *Engineering Geology*, 69-88.

5 ANEXO A: RESULTADOS DE TALUDES.

ϕ	Cohesión [kN/m²]			
	Eq. Peso	Eq. Peso+Agua	Eq. Peso+Sismo	Eq. Peso+Agua+Sismo
20	38.92	81.03	45.31	87.42
22	37.16	80.72	43.77	87.33
24	35.35	80.4	42.18	87.23
26	33.48	80.07	40.55	87.14
28	31.55	79.73	38.86	87.04
30	29.55	79.38	37.11	86.94
	Esfuerzos [N/m²]			
	Esfuerzo N. Efectivo			
20	43916.224	7737.962	38426.696	2248.434
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo cortante promedio			
20	54895.280	83837.890	59286.903	88229.513
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo resistente promedio			
20	54904.198	83846.388	59296.174	88238.363
22	54903.306	83846.340	59295.393	88238.426
24	54902.763	83845.163	59288.667	88231.067
26	54899.374	83844.056	59291.952	88236.635
28	54900.671	83844.347	59291.837	88235.514
30	54905.044	83847.515	59295.663	88238.134

Tabla 14 Resultados Obtenidos Talud 1

ϕ	Cohesión [kN/m²]			
[°]	Eq. Peso	Eq. Peso+Agua	Eq. Peso+Sismo	Eq. Peso+Agua+Sismo
20	42.21	72.43	47.88	78.1
22	40.75	72.16	46.64	78.05
24	39.25	71.88	45.36	77.99
26	37.7	71.59	44.05	77.94
28	36.1	71.28	42.69	77.88
30	34.43	70.97	41.28	77.82
	Esfuerzos [N/m²]			
	Esfuerzo N. Efectivo			
20	36454.336	6855.814	30906.937	1308.415
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo cortante promedio			
20	55473.989	74924.446	59119.422	78569.879
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo resistente promedio			
20	55478.293	74925.312	59129.205	78576.224
22	55478.508	74929.929	59127.213	78578.634
24	55480.516	74932.405	59120.655	78572.544
26	55479.967	74933.804	59124.320	78578.157
28	55483.114	74925.301	59123.510	78575.697
30	55476.920	74928.206	59124.128	78575.414

Tabla 15 Resultados Obtenidos Talud 2

ϕ	Cohesión [kN/m²]			
	Eq. Peso	Eq. Peso+Agua	Eq. Peso+Sismo	Eq. Peso+Agua+Sismo
20	37.3	78.56	44.5	85.76
22	35.24	77.78	42.66	85.21
24	33.11	76.98	40.76	84.64
26	30.92	76.15	38.81	84.05
28	28.65	75.3	36.79	83.44
30	26.29	74.41	34.69	82.81
	Esfuerzos [N/m²]			
	Esfuerzo N. Efectivo			
20	51586.817	19452.745	45979.554	13845.483
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo cortante promedio			
20	56072.627	85635.973	61231.309	90794.655
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo resistente promedio			
20	56076.066	85640.220	61235.189	90799.344
22	56082.427	85639.419	61236.946	90803.938
24	56077.931	85640.920	61231.417	90804.406
26	56080.572	85637.738	61235.727	90802.893
28	56079.197	85643.208	61237.763	90801.774
30	56073.663	85641.048	61236.308	90803.693

Tabla 16 Resultados Obtenidos Talud 3

ϕ	Cohesión [kN/m²]			
	Eq. Peso	Eq. Peso+Agua	Eq. Peso+Sismo	Eq. Peso+Agua+Sismo
20	36.04	70.84	41.95	76.75
22	34.4	70.4	40.52	76.52
24	32.73	69.96	39.06	76.29
26	31	69.5	37.55	76.05
28	29.21	69.03	35.98	75.8
30	27.36	68.54	34.36	75.54
	Esfuerzos [N/m²]			
	Esfuerzo N. Efectivo			
20	40663.171	10763.780	35580.274	5680.884
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo cortante promedio			
20	50828.963	74748.476	54895.280	78814.793
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo resistente promedio			
20	50840.184	74757.696	54900.161	78817.673
22	50828.987	74748.850	54895.364	78815.226
24	50834.410	74752.344	54901.359	78819.293
26	50832.754	74749.847	54903.659	78820.752
28	50830.991	74753.204	54898.367	78820.580
30	50836.893	74754.472	54902.281	78819.860

Tabla 17 Resultados Obtenidos Talud 4

ϕ	Cohesión [kN/m²]			
	Eq. Peso	Eq. Peso+Agua	Eq. Peso+Sismo	Eq. Peso+Agua+Sismo
20	25.57	46.74	30.07	51.23
22	24.31	46.18	28.96	50.82
24	23.02	45.6	27.81	50.4
26	21.68	45	26.63	49.96
28	20.29	44.39	25.41	49.5
30	18.86	43.75	24.14	49.03
	Esfuerzos [N/m²]			
	Esfuerzo N. Efectivo			
20	31468.514	14032.266	27766.336	10330.087
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo cortante promedio			
20	37021.781	51842.592	40168.632	54989.443
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo resistente promedio			
20	37023.602	51847.327	40176.120	54989.844
22	37024.105	51849.403	40178.328	54993.626
24	37030.685	51847.567	40172.369	54999.251
26	37028.220	51843.993	40172.547	54998.320
28	37022.106	51851.088	40173.623	54992.605
30	37028.355	51851.532	40170.901	54994.079

Tabla 18 Resultados Obtenidos Talud 5

φ	Cohesión [kN/m²]			
[°]	Eq. Peso	Eq. Peso+Agua	Eq. Peso+Sismo	Eq. Peso+Agua+Sismo
20	26.23	36.73	29.8	40.29
22	25.3	36.21	29.01	39.92
24	24.35	35.68	28.2	39.53
26	23.37	35.13	27.37	39.13
28	22.36	34.56	26.51	38.71
30	21.3	33.97	25.61	38.28
	Esfuerzos [N/m²]			
	Esfuerzo N. Efectivo			
20	23084.169	12899.977	19621.544	9437.352
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo cortante promedio			
20	34626.254	41415.715	36934.671	43724.132
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo resistente promedio.			
20	34631.950	41425.208	36941.658	43724.915
22	34626.610	41421.929	36937.618	43732.938
24	34627.734	41423.440	36936.074	43731.780
26	34628.902	41421.739	36940.066	43732.904
28	34634.071	41419.039	36942.960	43727.929
30	34627.651	41417.805	36938.504	43728.657

Tabla 19 Resultados Obtenidos Talud 6

ϕ	Cohesión [kN/m²]			
	Eq. Peso	Eq. Peso+Agua	Eq. Peso+Sismo	Eq. Peso+Agua+Sismo
20	30.51	52.87	35.25	57.6
22	29.22	52.38	34.13	57.29
24	27.9	51.88	32.98	56.96
26	26.54	51.36	31.8	56.62
28	25.13	50.83	30.58	56.27
30	23.67	50.27	29.31	55.91
	Esfuerzos [N/m²]			
	Esfuerzo N. Efectivo			
20	32046.063	12153.568	27829.476	7936.981
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo cortante promedio			
20	42165.873	57284.169	45370.479	60488.775
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo resistente promedio			
20	42173.813	57293.537	45379.101	60488.825
22	42167.450	57290.360	45373.838	60496.749
24	42167.827	57291.117	45370.481	60493.772
26	42169.909	57287.691	45373.342	60491.124
28	42169.194	57292.167	45377.195	60490.168
30	42171.803	57286.866	45377.356	60492.418

Tabla 20 Resultados Obtenidos Talud 7

ϕ	Cohesión [kN/m²]			
	Eq. Peso	Eq. Peso+Agua	Eq. Peso+Sismo	Eq. Peso+Agua+Sismo
20	34.8	58.36	39.31	62.87
22	33.65	58.16	38.34	62.85
24	32.47	57.95	37.35	62.83
26	31.25	57.74	36.32	62.81
28	29.99	57.52	35.26	62.78
30	28.69	57.29	34.16	62.76
	Esfuerzos [N/m²]			
	Esfuerzo N. Efectivo			
20	28637.062	5013.936	24115.421	492.294
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo cortante promedio			
20	45216.414	60177.727	48080.120	63041.434
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo resistente promedio			
20	45223.038	60184.923	48087.295	63049.180
22	45220.124	60185.762	48083.262	63048.900
24	45220.042	60182.348	48086.877	63049.184
26	45217.228	60185.460	48081.877	63050.108
28	45216.596	60185.957	48082.397	63041.758
30	45223.616	60184.797	48083.045	63044.226

Tabla 21 Resultados Obtenidos Talud 8

ϕ	Cohesión [kN/m²]			
	Eq. Peso	Eq. Peso+Agua	Eq. Peso+Sismo	Eq. Peso+Agua+Sismo
20	29.76	41.84	35.04	47.12
22	28.28	40.75	33.73	46.21
24	26.75	39.63	32.38	45.27
26	25.17	38.48	30.99	44.3
28	23.54	37.28	29.55	43.29
30	21.85	36.04	28.06	42.25
	Esfuerzos [N/m²]			
	Esfuerzo N. Efectivo			
20	37070.460	27176.928	32745.573	22852.041
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo cortante promedio			
20	43248.870	51729.041	46955.916	55436.087
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo resistente promedio			
20	43252.544	51731.593	46958.414	55437.463
22	43257.438	51730.192	46960.070	55442.824
24	43254.832	51729.948	46959.268	55444.384
26	43250.471	51735.073	46961.083	55445.685
28	43250.713	51730.229	46961.130	55440.646
30	43252.640	51730.606	46965.665	55443.632

Tabla 22 Resultados Obtenidos Talud 9

φ	Cohesión [kN/m²]			
	Eq. Peso	Eq. Peso+Agua	Eq. Peso+Sismo	Eq. Peso+Agua+Sismo
20	29.34	42.23	36.73	49.62
22	27.1	40.34	34.69	47.93
24	24.8	38.39	32.6	46.19
26	22.42	36.38	30.43	44.39
28	19.96	34.31	28.19	42.54
30	17.41	32.15	25.87	40.61
	Esfuerzos [N/m²]			
	Esfuerzo N. Efectivo			
20	55879.610	47222.396	50912.533	42255.319
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo cortante promedio			
20	49670.764	59410.130	55258.725	64998.091
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo resistente promedio			
20	49678.515	59417.546	55260.647	64999.679
22	49676.828	59419.086	55259.999	65002.257
24	49679.205	59414.765	55267.720	65003.280
26	49674.307	59411.901	55261.702	64999.296
28	49671.715	59418.593	55260.674	65007.552
30	49672.108	59413.863	55264.365	65006.120

Tabla 23 Resultados Obtenidos Talud 10

ϕ	Cohesión [kN/m²]			
	Eq. Peso	Eq. Peso+Agua	Eq. Peso+Sismo	Eq. Peso+Agua+Sismo
20	39.15	64.08	45.33	70.26
22	37.47	63.28	43.86	69.67
24	35.74	62.45	42.36	69.07
26	33.95	61.6	40.81	68.45
28	32.11	60.72	39.2	67.81
30	30.19	59.81	37.53	67.15
	Esfuerzos [N/m²]			
	Esfuerzo N. Efectivo			
20	41984.776	20026.933	36542.305	14584.462
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo cortante promedio			
20	54424.709	71363.617	58623.187	75562.094
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo resistente promedio			
20	54431.209	71369.207	58630.311	75568.310
22	54432.951	71371.406	58624.050	75562.505
24	54432.827	71366.565	58629.682	75563.421
26	54427.343	71367.788	58632.873	75563.317
28	54433.701	71368.509	58629.888	75564.696
30	54429.922	71372.555	58627.710	75570.343

Tabla 24 Resultados Obtenidos Talud 11

φ	Cohesión [kN/m²]			
	Eq. Peso	Eq. Peso+Agua	Eq. Peso+Sismo	Eq. Peso+Agua+Sismo
20	31.53	64.21	39.03	71.72
22	29.28	62.87	36.99	70.58
24	26.97	61.5	34.9	69.42
26	24.59	60.07	32.73	68.22
28	22.12	58.6	30.49	66.97
30	19.56	57.07	28.17	65.68
	Esfuerzos [N/m²]			
	Esfuerzo N. Efectivo			
20	56101.436	33467.112	50906.859	28272.534
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo cortante promedio			
20	51945.774	76390.844	57555.918	82000.988
22				
24				
26				
28				
30				
	Esfuerzo resistente promedio			
20	51949.253	76391.033	57558.581	82010.361
22	51946.451	76391.591	57557.706	82002.845
24	51947.969	76400.518	57565.194	82007.743
26	51952.499	76393.001	57558.934	82009.436
28	51949.663	76394.779	57557.657	82002.773
30	51950.179	76392.246	57561.089	82003.155

Tabla 25 Resultados Obtenidos Talud 12

6 ANEXO B: RESULTADOS DE RELACIONES PHI VS. COHESIONES SEGÚN LA ALTURA.

6.1 Alturas Totales.

Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso													
Altura H=5.5m			Altura H=6m			Altura H=6.5m			Altura H=7m				
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]		
5	20	25.57	6	20	26.23	7	20	30.51	9	20	29.76		
	22	24.31		22	25.3		22	29.22		22	28.28		
	24	23.02		24	24.35		24	27.90		24	26.75		
	26	21.68		26	23.37		26	26.54		26	25.17		
	28	20.29		28	22.36		28	25.13		28	23.54		
	30	18.86		30	21.3		30	23.67		30	21.85		
Altura Ha=7.5m			Altura Ha=8m			Altura H=8.5m			Altura H=9m				
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]		
4	20	36.04	1	20	38.92	11	20	39.15	2	20	42.21		
	22	34.40		22	37.16		22	37.47		22	40.75		
	24	32.73		24	35.35		24	35.74		24	39.25		
	26	31.00		26	33.48		26	33.95		26	37.70		
	28	29.21		28	31.55		28	32.11		28	36.10		
	30	27.36		30	29.55		30	30.19		30	34.43		
8	20	34.80	3	20	37.30	10	20	39.15	2	20	42.21		
	22	33.65		22	35.24			22			37.47	22	40.75
	24	32.47		24	33.11			24			35.74	24	39.25
	26	31.25		26	30.92			26			33.95	26	37.70
	28	29.99		28	28.65			28			32.11	28	36.10
	30	28.69		30	26.29			30			30.19	30	34.43
12	20	31.53	10	20	29.34		22	20	39.15	2	22	42.21	
	22	29.28		22	27.10			22	37.47			22	40.75
	24	26.97		24	24.80			24	35.74			24	39.25
	26	24.59		26	22.42			26	33.95			26	37.70
	28	22.12		28	19.96			28	32.11			28	36.10
	30	19.56		30	17.41			30	30.19			30	34.43
Promedio Ecuación	20	34.69	Promedio Ecuación	20	35.43	10	20	39.15	2	20	42.21		
	22	32.60		22	32.84			22			37.47	22	40.75
	24	30.64		24	30.43			24			35.74	24	39.25
	26	28.80		26	28.21			26			33.95	26	37.70
	28	27.07		28	26.14			28			32.11	28	36.10
30	25.44	30	24.23	30	30.19	30	34.43						

Tabla 26 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso

Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más sismo											
Altura H=5.5m			Altura H=6m			Altura H=6.5m			Altura H=7m		
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]
5	20	30.07	6	20	29.8	7	20	35.25	9	20	35.04
	22	28.96		22	29.01		22	34.13		22	33.73
	24	27.81		24	28.2		24	32.98		24	32.38
	26	26.63		26	27.37		26	31.8		26	30.99
	28	25.41		28	26.51		28	30.58		28	29.55
	30	24.14		30	25.61		30	29.31		30	28.06
Altura Ha=7.5m			Altura Ha=8m			Altura H=8.5m			Altura H=9m		
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]
4	20	41.95	1	20	45.31	11	20	45.33	2	20	47.88
	22	40.52		22	43.77		22	43.86		22	46.64
	24	39.06		24	42.18		24	42.36		24	45.36
	26	37.55		26	40.55		26	40.81		26	44.05
	28	35.98		28	38.86		28	39.2		28	42.69
	30	34.36		30	37.11		30	37.53		30	41.28
8	20	39.31	3	20	44.5	10	20	36.73	12	20	39.03
	22	38.34		22	42.66		22	34.69		22	36.99
	24	37.35		24	40.76		24	32.6		24	34.9
	26	36.32		26	38.81		26	30.43		26	32.73
	28	35.26		28	36.79		28	28.19		28	30.49
	30	34.16		30	34.69		30	25.87		30	28.17
Promedio Ecuación	20	40.42	Promedio Ecuación $c=71.959e^{-0.027x}$	20	41.93	12	20	39.03	12	20	39.03
	22	38.68		22	39.73		22	36.99		22	36.99
	24	37.02		24	37.64		24	34.9		24	34.9
	26	35.42		26	35.66		26	32.73		26	32.73
	28	33.90		28	33.79		28	30.49		28	30.49
	30	32.44		30	32.01		30	28.17		30	28.17

Tabla 27 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más sismo

Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más hidrostática											
Altura H=5.5m			Altura H=6m			Altura H=6.5m			Altura H=7m		
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]
5	20	46.74	6	20	36.73	7	20	52.87	9	20	41.84
	22	46.18		22	36.21		22	52.38		22	40.75
	24	45.6		24	35.68		24	51.88		24	39.63
	26	45		26	35.13		26	51.36		26	38.48
	28	44.39		28	34.56		28	50.83		28	37.28
	30	43.75		30	33.97		30	50.27		30	36.04
Altura Ha=7.5m			Altura Ha=8m			Altura H=8.5m			Altura H=9m		
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]
4	20	70.84	1	20	81.03	11	20	64.08	2	20	72.43
	22	70.4		22	80.72		22	63.28		22	72.16
	24	69.96		24	80.4		24	62.45		24	71.88
	26	69.5		26	80.07		26	61.6		26	71.59
	28	69.03		28	79.73		28	60.72		28	71.28
	30	68.54		30	79.38		30	59.81		30	70.97
8	20	58.36	3	20	78.56	12	20	64.21	10	20	42.23
	22	58.16		22	77.78		22	62.87		22	40.34
	24	57.95		24	76.98		24	61.5		24	38.39
	26	57.74		26	76.15		26	60.07		26	36.38
	28	57.52		28	75.3		28	58.6		28	34.31
	30	57.29		30	74.41		30	57.07		30	32.15
Promedio Ecuación	20	64.51	Promedio Ecuación	20	67.33	Promedio Ecuación	20	64.51	Promedio Ecuación	20	67.33
	22	63.81		22	66.27		22	63.81		22	66.27
	24	63.11		24	65.21		24	63.11		24	65.21
	26	62.41		26	64.16		26	62.41		26	64.16
	28	61.71		28	63.10		28	61.71		28	63.10
	30	61.01		30	62.04		30	61.01		30	62.04

Tabla 28 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más hidrostática

Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más sismo más hidrostática											
Altura H=5.5m			Altura H=6m			Altura H=6.5m			Altura H=7m		
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]
5	20	51.23	6	20	40.29	7	20	57.6	9	20	47.12
	22	50.82		22	39.92		22	57.29		22	46.21
	24	50.4		24	39.53		24	56.96		24	45.27
	26	49.96		26	39.13		26	56.62		26	44.3
	28	49.5		28	38.71		28	56.27		28	43.29
	30	49.03		30	38.28		30	55.91		30	42.25
Altura Ha=7.5m			Altura Ha=8m			Altura H=8.5m			Altura H=9m		
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]
4	20	76.75	1	20	87.42	11	20	70.26	2	20	78.1
	22	76.52		22	87.33		22	69.67		22	78.05
	24	76.29		24	87.23		24	69.07		24	77.99
	26	76.05		26	87.14		26	68.45		26	77.94
	28	75.8		28	87.04		28	67.81		28	77.88
	30	75.54		30	86.94		30	67.15		30	77.82
8	20	62.87	3	20	85.76	10	20	49.62	Promedio Ecuación	20	70.47
	22	62.85		22	85.21		22	47.93		22	69.98
	24	62.83		24	84.64		24	46.19		24	69.49
	26	62.81		26	84.05		26	44.39		26	69.00
	28	62.78		28	83.44		28	42.54		28	68.51
	30	62.76		30	82.81		30	40.61		30	68.02
12	20	71.72	10	20	49.62	Promedio Ecuación	20	74.31	Promedio Ecuación	20	70.47
	22	70.58		22	47.93		22	73.48		22	69.98
	24	69.42		24	46.19		24	72.65		24	69.49
	26	68.22		26	44.39		26	71.82		26	69.00
	28	66.97		28	42.54		28	71.00		28	68.51
	30	65.68		30	40.61		30	70.17		30	68.02

Tabla 29 Clasificación por alturas totales y Cohesión dada por el peso más sismo más hidrostática

6.2 Altura Ha.

Clasificación por alturas Ha y Cohesión dada por el peso											
Altura Ha=3m			Altura Ha=3.5m			Altura Ha=4m			Altura Ha=4.5m		
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]
6	20	26.23	5	20	25.57	7	20	30.51	8	20	34.80
	22	25.3		22	24.31		22	29.22		22	33.65
	24	24.35		24	23.02		24	27.90		24	32.47
	26	23.37		26	21.68		26	26.54		26	31.25
	28	22.36		28	20.29		28	25.13		28	29.99
	30	21.3		30	18.86		30	23.67		30	28.69
Altura Ha=5m			9	20	29.76	10	20	29.34	Altura Ha=5.5m		
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]		22	28.28		22	27.10	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]
4	20	36.04		24	26.75		24	24.80	1	20	38.92
	22	34.40		26	25.17		26	22.42		22	37.16
	24	32.73		28	23.54		28	19.96		24	35.35
	26	31.00		30	21.85		30	17.41		26	33.48
	28	29.21	Promedio Ecuación $c = 51.309 e^{(-0.031\varphi)}$	20	27.60	Promedio Ecuación $c = 65.632 e^{(-0.039\varphi)}$	20	30.09		28	31.55
	30	27.36	22	25.94	24	25.74	22	27.83		30	29.55
11	20	39.15	26	22.92	26	23.81	2	20	42.21		
	22	37.47	28	21.54	28	22.02		22	40.75		
	24	35.74	30	20.24	30	20.37		24	39.25		
	26	33.95						26	37.70		
	28	32.11						28	36.10		
	30	30.19						30	34.43		
12	20	31.53					3	20	37.30		
	22	29.28						22	35.24		
	24	26.97						24	33.11		
	26	24.59						26	30.92		
	28	22.12						28	28.65		
	30	19.56						30	26.29		
Promedio Ecuación	20	35.55					Promedio Ecuación	20	39.37		
	22	33.21						22	37.23		
	24	31.03						24	35.20		
	26	28.99						26	33.28		
	28	27.08						28	31.47		
	30	25.30						30	29.76		

Tabla 30 Clasificación por alturas Ha y Cohesión dada por el peso

Clasificación por alturas H_a y Cohesión dada por el peso más sismo											
Altura $H_a=3m$			Altura $H_a=3.5m$			Altura $H_a=4m$			Altura $H_a=4.5m$		
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]
6	20	29.8	5	20	30.07	7	20	35.25	8	20	39.31
	22	29.01		22	28.96		22	34.13		22	38.34
	24	28.2		24	27.81		24	32.98		24	37.35
	26	27.37		26	26.63		26	31.8		26	36.32
	28	26.51		28	25.41		28	30.58		28	35.26
	30	25.61		30	24.14		30	29.31		30	34.16
Altura $H_a=5m$			Altura $H_a=5.5m$			Altura $H_a=6m$			Altura $H_a=6.5m$		
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]
4	20	41.95	9	20	35.04	10	20	36.73	1	20	45.31
	22	40.52		22	33.73		22	34.69		22	43.77
	24	39.06		24	32.38		24	32.6		24	42.18
	26	37.55		26	30.99		26	30.43		26	40.55
	28	35.98	28	29.55	28		28.19	28		38.86	
	30	34.36	30	28.06	30		25.87	30		37.11	
11	20	45.33	Promedio Ecuación	20	32.66	Promedio Ecuación	20	36.01	2	20	47.88
	22	43.86		22	31.26		22	34.12		22	46.64
	24	42.36		24	29.91		24	32.33		24	45.36
	26	40.81		26	28.62		26	30.63		26	44.05
	28	39.2	28	27.39	28		29.02	28		42.69	
	30	37.53	30	26.21	30		27.49	30		41.28	
12	20	39.03	Promedio Ecuación	20	32.66	Promedio Ecuación	20	36.01	3	20	44.5
	22	36.99		22	31.26		22	34.12		22	42.66
	24	34.9		24	29.91		24	32.33		24	40.76
	26	32.73		26	28.62		26	30.63		26	38.81
	28	30.49		28	27.39		28	29.02		28	36.79
	30	28.17		30	26.21		30	27.49		30	34.69
Promedio Ecuación	20	42.07	Promedio Ecuación	20	32.66	Promedio Ecuación	20	36.01	Promedio Ecuación	20	45.95
	22	40.10		22	31.26		22	34.12		22	44.15
	24	38.22		24	29.91		24	32.33		24	42.42
	26	36.43		26	28.62		26	30.63		26	40.76
	28	34.72		28	27.39		28	29.02		28	39.16
	30	33.10		30	26.21		30	27.49		30	37.62

Tabla 31 Clasificación por alturas H_a y Cohesión dada por el peso más sismo

Clasificación por alturas H_a y Cohesión dada por el peso más hidrostática												
Altura $H_a=3m$			Altura $H_a=3.5m$			Altura $H_a=4m$			Altura $H_a=4.5m$			
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	
6	20	36.73	5	20	46.74	7	20	52.87	8	20	58.36	
	22	36.21		22	46.18		22	52.38		22	58.16	
	24	35.68		24	45.6		24	51.88		24	57.95	
	26	35.13		26	45		26	51.36		26	57.74	
	28	34.56		28	44.39		28	50.83		28	57.52	
	30	33.97		30	43.75		30	50.27		30	57.29	
Altura $H_a=5m$			9	20	41.84	10	20	42.23	Altura $H_a=5.5m$			
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]		22	40.75		22	40.34	1	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]
4	20	70.84		24	39.63		24	38.39		20	81.03	
	22	70.4		26	38.48		26	36.38		22	80.72	
	24	69.96		28	37.28		28	34.31		24	80.4	
	26	69.5		30	36.04		30	32.15		26	80.07	
	28	69.03	Promedio Ecuación	20	44.34	Promedio Ecuación	20	47.62		28	79.73	
	30	68.54		22	43.46		22	46.35	30	79.38		
11	20	64.08		24	42.58		24	45.08	20	72.43		
	22	63.28		26	41.70		26	43.81	22	72.16		
	24	62.45		28	40.82		28	42.55	24	71.88		
	26	61.6		30	39.95		30	41.28	26	71.59		
	28	60.72	2	3	20	78.56	28	71.28				
	30	59.81			22	77.78	30	70.97				
12	20	64.21			24	76.98	Promedio Ecuación	20	77.37			
	22	62.87			26	76.15		22	76.88			
	24	61.5			28	75.3		24	76.40			
	26	60.07			30	74.41		26	75.91			
	28	58.6	3	Promedio Ecuación	20	75.43						
	30	57.07			22	74.95						
Promedio Ecuación	20	66.42			24	74.41						
	22	65.51			26	73.91						
	24	64.60			28	73.41						
	26	63.68			30	72.91						
	28	62.77	30	72.41								
	30	61.86	30	71.91								

Tabla 32 Clasificación por alturas H_a y Cohesión dada por el peso más hidrostática

Clasificación por alturas Ha y Cohesión dada por el peso más sismo más hidrostática													
Altura Ha=3m			Altura Ha=3.5m			Altura Ha=4m			Altura Ha=4.5m				
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]		
6	20	40.29	5	20	51.23	7	20	57.6	8	20	62.87		
	22	39.92		22	50.82		22	57.29		22	62.85		
	24	39.53		24	50.4		24	56.96		24	62.83		
	26	39.13		26	49.96		26	56.62		26	62.81		
	28	38.71		28	49.5		28	56.27		28	62.78		
	30	38.28		30	49.03		30	55.91		30	62.76		
Altura Ha=5m			9	20	47.12	10	20	49.62	Altura Ha=5.5m				
Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]		22	46.21		22	47.93	1	Talud	φ [°]	Cohesión [kN/m ²]	
4	20	76.75		24	45.27		24	46.19		20	87.42		
	22	76.52		26	44.3		26	44.39		22	87.33		
	24	76.29		28	43.29		28	42.54		24	87.23		
	26	76.05		30	42.25		30	40.61		26	87.14		
	28	75.8	Promedio Ecuación	20	49.22	Promedio Ecuación	20	53.67		28	87.04		
	30	75.54		22	48.51		22	52.60	30	86.94			
11	20	70.26		24	47.80		24	51.53	2	20	78.1		
	22	69.67		26	47.10		26	50.46		22	78.05		
	24	69.07		28	46.39		28	49.39		24	77.99		
	26	68.45		30	45.68		30	48.32		26	77.94		
	28	67.81	Promedio Ecuación	Promedio Ecuación	Promedio Ecuación	Promedio Ecuación	28	77.88					
	30	67.15					30	77.82					
12	20	71.72					Promedio Ecuación	Promedio Ecuación	Promedio Ecuación	Promedio Ecuación	3	20	85.76
	22	70.58										22	85.21
	24	69.42										24	84.64
	26	68.22										26	84.05
	28	66.97	28	83.44									
	30	65.68	30	82.81									
Promedio Ecuación	20	72.94	Promedio Ecuación	Promedio Ecuación	Promedio Ecuación	Promedio Ecuación	Promedio Ecuación	20	83.77				
	22	72.25						22	83.53				
	24	71.56						24	83.28				
	26	70.87						26	83.03				
	28	70.18						28	82.78				
	30	69.50						30	82.54				

Tabla 33 Clasificación por alturas Ha y Cohesión dada por el peso más sismo más hidrostática