CE.020 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y TALUDES

1. GENERALIDADES
2. OBJETIVO
3. CAMPO DE APLICACIÓN
4. REFERENCIAS NORMATIVAS
5. GLOSARIO
6. SUELOS

6.1. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE MÉTODOS QUÍMICOS
6.2. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE MÉTODOS FÍSICOS

7. TALUDES

7.1 ESTABILIZACIÓN DE UN TALUD EXISTENTE
7.2 ESTABILIZACIÓN DE UN TALUD RECIÉN CORTADO

8. ANEXOS INFORMATIVOS

1. GENERALIDADES

Los suelos con poca capacidad de carga o susceptibles a los asentamientos, requieren ser estabilizados, ya sea cuando se realizan excavaciones o cuando se alteran las condiciones de equilibrio de los taludes, puesto que se produce inestabilidad, poniendo en riesgo la vida humana, los bienes materiales y el ambiente.

2. OBJETIVO

Establecer las consideraciones técnicas mínimas, para el mejoramiento requerido de la resistencia de los suelos y de la estabilidad de taludes, mediante métodos químicos, mecánicos o de modificación topográfica.

3. CAMPO DE APLICACIÓN

La presente norma es obligatoria para todo el territorio nacional. Se exige su aplicación a todos los Estudios de Estabilización de Suelos y Taludes para las obras de ingeniería civil.

La presente norma considera exigencias mínimas, sin ser limitativo para los estudios de evaluación y mitigación de los riesgos de deslizamientos de laderas o taludes brindando un enfoque ambiental orientado a la Gestión de Riesgos.

La presente norma toma en cuenta los fenómenos de geodinámica externa, así como el control de la erosión de los taludes.

La presente norma no se aplica en los casos que haya presunción de existencia de ruinas arqueológicas, patrimonios históricos, reservas naturales, galerías u oquedades subterráneas de origen natural o artificial; en cuyos casos se deberán efectuar estudios específicos orientados a evaluar y solucionar dichos problemas.

4. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes referencias contienen disposiciones que al ser citadas en este texto constituyen requisitos de la presente Norma. Las mismas que deberán ser de la edición vigente.

- NTP 341.127:1975 Planchas gruesas de acero al carbono para servicio a temperaturas medianas y bajas para recipiente a presión.
- NTP 334.113:2002 Método de Ensayo para la determinación del cambio de longitud de barras de mortero, debido a la reacción entre el Cemento Portland y los agregados álcali - reactivos.
- NTP 334.125:2002 Cal viva y cal hidratada para Estabilización de Suelos.
- NTP 339.127:1998 SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.

• NTP 339.128:1999 SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico.
• NTP 339.129:1999 SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
• NTP 339.133:1999 SUELOS. Método de ensayo de penetración estándar SPT.
• NTP 339.134:1999 SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).
• NTP 339.135:1999 SUELOS. Método para la clasificación de suelos para uso en vías de transporte.
• NTP 339.136:1999 SUELOS. Símbolos, terminologías y definiciones.
• NTP 339.141:1999 SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando un energía modificada (2700 KN-m/m3 (56000pie.lbf/pie3).
• NTP 339.142:1999 SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía estándar (600 KN-m/m3)12400 pie-lbf/pie3).
• NTP 339.143:1999 SUELOS. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena.
• NTP 339.145:1999 SUELOS. Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio.
• NTP 339.146:2000 SUELOS. Método de prueba estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.
• NTP 339.150:2001 SUELOS. Descripción e identificación de suelos. Procedimiento visual - manual.
• NTP 339.152:2002 SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y agua subterránea.
• NTP 339.153:2001 SUELOS. Método de ensayo normalizado para la capacidad portante del suelo por carga estática y para cimientos aislados.
• NTP 339.159:2001 SUELOS. Método de ensayo normalizado para la auscultación con penetrómetro dinámico ligero de punta cónica (DPL).
• NTP 339.167:2002 SUELOS. Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos.
• NTP 339.171:2002 SUELOS. Método de ensayo normalizado para el ensayo de corte directo en suelos bajo condiciones consolidadas no drenadas.
• NTP 339.174:2002 SUELOS. Método de ensayo normalizado para relaciones de humedad - densidad de mezclas de suelo - cemento.
• NTP 339.179:2002 SUELOS. Módulo de suelos de sub-rasante y materiales no tratados de base/sub-base.
• MTC E1103-2000 Resistencia a la compresión de Probetas de Suelo-Cemento.
• MTC E1104-2000 Ensayo de Humedecido y Secado para mezclas de Suelo-Cemento compactadas.
• MTC E115-2000 Compactación de Suelo en laboratorio utilizando una energía modificada, 2000 kN-n/m3, 56000 pie-lbf/pie3.

Así también son aplicables los documentos de consultas, desarrollados por otros comités o instituciones, según la relación indicada:

• Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), Norma E.050 - Suelos y Cimentaciones.
• Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), Norma E.030 - Diseño Sismo resistente.
• Métodos de confinamiento de la arena de la US Army Corps of Engineers (Cuerpo de Ingenieros del Ejército Estadounidense).

5. GLOSARIO

5.1. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES: Proceso en el que se evalúan cuantitativamente la interacción entre las fuerzas estabilizantes o resistentes y las fuerzas desestabilizantes o movilizantes que actúan sobre un talud.

5.2. ANDENERÍA: Conjunto de andenes, de aprovechamiento ingenioso del talud, que combina el espacio agrícola ganado en forma de terrazas con el manejo del agua. Integra al talud en funciones de estabilidad, riego, administración del agua, comunicación entre los extremos del talud, aprovechamiento agrícola.

5.3. ARCILLAS ALTAMENTE SENSIBLES: Arcillas que pierden resistencia al ser alteradas o remoldeadas y que presentan dificultad para determinar su resistencia cortante.

5.4. ARCILLAS DURAS: Arcillas con un período largo de resistencia al cortante con reducción en el valor residual. En taludes, pueden permanecer a ángulos mayores a los correspondientes a su resistencia residual.

5.5. BANQUETAS: Sección geométrica resultante, construida a intervalos, que permite reducir el ángulo efectivo del talud protegiéndolo contra la infiltración y la erosión.

5.6. CAPACIDAD DE CARGA: La capacidad de carga es la presión última o de falla por corte del suelo y se determina utilizando las fórmulas aceptadas por la mecánica de suelos.(para mayor detalle ver Norma E.050 Suelos y Cimentaciones).

5.7. CAPACIDAD DE SOPORTE: Resistencia que presenta el material subrasante con fines de diseño de pavimentos.

5.8. CARGA ADMISIBLE: Sinónimo de presión admisible.

5.9. CELDA DE CONFINAMIENTO: Tiras de plástico soldadas de forma que, cuando se produce una dilatación, las tiras soldadas forman un panel rectangular compuesto de celdas individuales similares a un panal de abeja.

5.10. COEFICIENTE SISMICO: Factor que permite ajustar el cálculo de la sobrecarga sísmica horizontal en la base del edificio, a la relación entre el período de vibración de la estructura y el del terreno de cimentación..

5.11. CORRIMIENTOS: Son movimientos que afectan a una gran cantidad de masa de terreno.

5.12. DESLIZAMIENTOS: Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o de zonas relativamente delgadas con gran deformación cortante

5.13. EIA: Siglas correspondiente al Estudio de Impacto Ambiental. Conjunto de exploraciones e investigaciones de campo y análisis de gabinete que tienen por objeto estudiar la interacción obra - medio ambiente.

5.14. EMPUJE ACTIVO: Tensiones generadas por el estado activo, donde existe la posibilidad del que el suelo se deforme lateralmente, disminuyendo la tensión horizontal hasta un valor mínimo donde se alcance un estado tensional de falla.

5.15. EMPUJE DE REPOSO: Tensiones generadas a partir de un estado de reposo de empujes de tierras en total confinamiento lateral, donde sólo puede presentarse deformación en el sentido vertical, mientras que lateralmente la deformación es nula.

5.16. EMPUJE PASIVO: Tensiones generadas por el estado pasivo, donde existe la posibilidad del que el suelo se deforme lateralmente, aumentando la tensión horizontal hasta un valor máximo donde se alcance un estado tensional de falla.

5.17. ENTIBACIÓN: De entibar. Proceso mediante el cual se contrarresta los empujes activos, empleando materiales de sostenimiento con condición temporal.

5.18. ESTABILIDAD: Resultado del proceso de estabilización.

5.19. ESTABILIZACIÓN: Proceso físico o químico, mediante el cual se mejora las condiciones mecánicas de un suelo.

5.20. ESTABILIZACIÓN DE TALUDES: Solución geotécnica integral que se implementa en un talud, sea de terraplén, de excavación, de corte, natural u otros, capaz de incorporarle equilibrio suficiente y sostenible, que atienda los criterios gravitatorios y sísmicos, medidos por factores de seguridad, sin afectar negativamente a su entorno.

5.21. FLUJOS DE ARCILLA: Suelos que al entrar en contacto con el agua, se comportan como si alcanzasen el límite líquido, produciendo un movimiento más lento que los deslizamientos. Se da en pequeñas pendientes, pero en gran cantidad.

5.22. GEODINÁMICA EXTERNA: Conjunto de fenómenos geológicos de carácter dinámico, que pueden actuar sobre el terreno materia del Estudio como: erupciones volcánicas, inundaciones, huaycos, avalanchas, tsunamis, activación de fallas geológicas.

5.23. LADERA: Perfil natural que sigue un suelo en contacto con la superficie libre o atmósfera, y ese perfil no es horizontal.

5.24. LOESS: Tipo de depósito con alta permeabilidad en la dirección vertical. En filtraciones se produce erosión rápida y falla del talud.

5.25. MÉTODO QUÍMICO: Empleo de sustancias químicas especiales para estabilizar suelos del tipo arcilloso y que empleado en pequeñas cantidades, produce efectos deseados de acción inmediata.

5.26. METODOLOGÍA DE ESTABILIZACIÓN Y REMEDIACIÓN DEL TALUD POR DISMINUCIÓN DE LAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS: Las presiones hidrostáticas acumuladas en el talud disminuyen las presiones efectivas, afectando la resistencia del material para el caso de taludes en suelo. Para el caso de taludes en roca, las presiones hidrostáticas disminuyen las presiones normales actuantes, afectando su resistencia por cortante. En ambos casos se perjudica la estabilidad del talud, la cual puede reestablecerse incorporando soluciones de drenaje superficial y/o drenaje profundo al talud. El método específico será seleccionado por el Profesional Responsable.

5.27 METODOLOGÍA DE ESTABILIZACIÓN Y REMEDIACIÓN DEL TALUD POR DISMINUCIÓN DE LOS ESFUERZOS CORTANTES SOLICITANTES: Se obtendrá suavizando la inclinación del talud, teniendo el Profesional Responsable que seleccionar la alternativa adecuada, que entre otros, podría uniformizar el talud a una pendiente específica, incorporar un sistema de bermas de equilibrio, o cortar la cresta del talud, aliviando peso, o también rellenando con material en la base del mismo, aplicando peso.

5.28 METODOLOGIA DE ESTABILIZACIÓN Y REMEDIACIÓN DEL TALUD POR INTRODUCCIÓN DE FUERZAS RESISTENTES: En zonas inestables del talud, es posible incorporarle fuerzas resistentes externas que se integren internamente al talud, logrando compensar la deficiencia de estabilidad encontrada en la etapa de evaluación de la condición de estabilidad, cuya selección es responsabilidad del Profesional Responsable.

5.29 METODOLOGIA DE ESTABILIZACION Y REMEDIACION DEL TALUD POR MEJORÍA DE LAS PROPIEDADES DEL DEPÓSITO DEL TALUD: Para alcanzar pendientes mayores que el ángulo de reposo, en general terraplenes, se deberá mejorar los parámetros geotécnicos del material, incorporando aditivos químicos, enzimas biológicas, insertando vegetación-raíces y otros seleccionados adecuadamente por el Profesional Responsable. Ver Anexo Informativo 8.1

5.30 METODOLOGIA DE ESTABILIZACION Y REMEDIACION DEL TALUD INCORPORANDO INHIBIDORES O CONTROLADORES DE ENERGÍA DE CAÍDA: Dependerá del Profesional Responsable el o los métodos más apropiados a utilizar. Pueden ser: Apoyos Externos Estructurales (especialmente para el caso de taludes en roca que presente bloques inestables o pendientes negativas, se pueden utilizar apoyos externos estructurales como columnas y vigas gigantes establecidos por el Profesional Responsable) o Barreras de Protección (Para el caso de taludes en roca, con la cara del talud muy fracturada, se pueden utilizar Barreras de Protección establecidas por el Profesional Responsable como las mallas metálicas, los muros de impacto, las cercas de retención, etc.).

5.31. MOVIMIENTO EN MASA: Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras. También conocido como fenómeno de remoción en masa, movimientos de ladera, o movimientos de vertiente.

5.32. NIVEL FREÁTICO: Nivel del agua subterránea cuya presión es igual a la presión atmosférica.

5.33. PERMEABILIDAD: Facilidad con que el agua puede fluir a través de los poros y discontinuidades de un suelo o macizo rocoso.

5.34. PRESIÓN ADMISIBLE: Máxima presión que la cimentación puede transmitir al terreno sin que ocurran asentamientos excesivos (mayores que el admisible) ni el factor de seguridad frente a una falla por corte sea menor que el valor indicado en 3.5 de la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones

5.35. PROFESIONAL RESPONSABLE: Ingeniero Civil ó Ing. Geólogo registrado y habilitado en el Colegio de Ingenieros del Perú, con estudios de postgrado en geotecnica y con experiencia acreditada en geotecnia.

5.36. RELLENO: Depósitos artificiales descritos en el artículo 21 de la norma E-050 del Reglamento Nacional de Edificaciones (2006) y que se ubican en la zona activa del paramento del elemento de contención.

5.37. REPTACIÓN: Movimiento muy lento de capas superiores de taludes arcillosos, de 50 cm de espesor promedio, asociado a procesos de variación de humedad estacional.

5.38. ROCA: Agregado natural compuesto de partículas de uno ó más minerales, con fuertes uniones cohesivas, que no puede ser disgregado o excavado con herramientas manuales.

5.39. SUELO: Agregados naturales de partículas minerales granulares y cohesivas separables por medios mecánicos de poco energía o por agitación de agua.

5.40. SUELO COLAPSABLE: Suelo que al ser humedecido sufre un asentamiento o colapso relativamente rápido, que pone en peligro a las estructuras cimentadas sobre ellos.

5.41. SUELO EXPANSIVO: Suelo que al ser humedecido sufre una expansión que pone en peligro a las estructuras cimentadas sobre ellos.

5.42. SUELO ORGÁNICO: Suelo de color oscuro que presenta una variación mayor al 25% entre los límites líquidos de la muestra secada al aire y la muestra secada al horno a una temperatura de 110 °C ± 5 °C durante 24 horas.

5.43. SUELO-CEMENTO: Mezcla de suelo y cantidades medidas de cemento Portland y agua, compactada a alta densidad.

5.44. SUELO DELEZNABLE: Suelo en proceso de formación que se desliza y resbala con facilidad

5.45. TALUD: Perfil conseguido tras una excavación o terraplenado no necesariamente vertical, sino con cierto ángulo con la horizontal, llamado ángulo de talud.

5.46. VALOR DE ACELERACIÓN: Coeficiente que permite ajustar el cálculo de la sobrecarga sísmica horizontal en la base del talud, a la relación entre el período de vibración del talud y del terreno natural.

5.47. VUELCO DE MURO: Rotación de muro sobre el punto más alejado de la base en su sección transversal y la aplicación del empuje.

6 SUELOS

Se debe estabilizar todos los suelos que al perder su capacidad de carga, o al tener deformaciones excesivas, pongan en riesgo la vida humana, bienes materiales y el ambiente, de acuerdo al análisis realizado por el Profesional Responsable.

6.1 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE MÉTODOS QUÍMICOS

Se aplican métodos químicos en la estabilización de suelos, en casos que:

- No cumpla con los requisitos mínimos de resistencia o deformación para sustentar obras de ingeniería civil.
- No pueda ser empleado en condiciones naturales.
- No pueda ser eliminado o reemplazado por otro.

Para aplicar métodos químicos, el Profesional Responsable deberá sustentar previamente mediante un estudio técnico, que el suelo alcanzará estabilidad volumétrica, adecuada resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad.

Tanto la técnica, como los insumos empleados, no deben generar riesgo para el hombre, otros seres vivos y el ambiente, o por lo que debe desarrollarse un EIA.

Los productos deberán estar fabricados a base de enzimas o compuestos multi enzimáticos que trabajen en forma eficiente para el beneficio del medio ambiente según el Trabajo Técnico del Banco Mundial N°140 “Libro de Consulta para la Evaluación Ambiental” y sólo requerirán de agua para su dilución y aplicación.

6.1.1 ADITIVO ESTABILIZADOR

Sin ser limitativo, el aditivo estabilizador debe emplearse en el tratamiento de superficies de suelos con materiales orgánicos o de granulometrías muy finas (por ejemplo, en zonas de selva tropical, zonas de lluvias torrenciales, zonas pantanosas, etc.).

El aditivo estabilizador, debe cumplir normas internacionales de certificación ISO. El aditivo debe ser capaz de mezclarse íntima y homogéneamente con el suelo y curarse de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto.

Los métodos, dosificaciones y pruebas de control, deberán ser verificados por el profesional responsable junto al proveedor del aditivo, antes de su empleo.

El producto terminado de suelo con aditivo, deberá presentar mejores características de resistencia, con control volumétrico y de polvo superficial, tanto en la etapa de construcción como de servicio.

El profesional responsable debe utilizar el aditivo apropiado de acuerdo a las condiciones geográficas y climáticas, tales como: la temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento.

Se debe emplear aditivos que reduzcan el agua contenida entre las partículas del suelo aumentando los vacíos y facilitando su compactación.

De requerirse mejoras en el comportamiento estructural, debe emplearse aditivos en suelos que contengan más de 25% de finos cohesivos. Estos aditivos también deben ser controladores de polvo.

En caso que el estabilizador sea líquido soluble en agua se debe tener en cuenta la evaporación, observando la pérdida de humedad en el suelo, su solidificación y el aumento de la cohesión y resistencia.

La efectividad de los agentes estabilizadores debe cumplir con lo indicado en el siguiente cuadro:

TIPO DE SUELO	Arcillas Finas	Arcillas Gruesas	Limos finos	Limos Gruesos	Arenas Finas	Arenas Gruesas
Tamaño de partícula (mm)	< 0,0006	0,0006 - 0,002	0,002 - 0,01	0,01 - 0,06	0,06 - 0,4	0,4 - 2,0
Estabilidad volumétrica	Muy pobre	Regular	Regular	Bueno	Muy bueno	Muy bueno
CAL	SI	SI	SI			
CEMENTO	NO	NO	NO	NO	SI	SI
ASFALTO					SI	SI

6.1.1.1 ESTABILIZACIÓN CON CAL

La dosificación depende del tipo de arcilla. Se agregará de 2% a 8% de cal por peso seco de suelo. Este porcentaje debe determinarse en el laboratorio, siguiendo los pasos siguientes:

• Estimar el porcentaje de cal en función del pH.

• Elaborar especímenes para el ensayo de compresión no confinada a la humedad óptima y máxima densidad seca.

• Determinar el incremento de la resistencia del suelo estabilizado con cal.

• Si el incremento de resistencia, con el porcentaje de cal elegido, es mayor a 3.5 kg/cm2, determinar la variación en la resistencia para especímenes elaborados con + 2% de cal.

• Determinar el contenido de cal para el cual la resistencia no aumenta en forma importante.

• Elaborar una gráfica de resistencia y % de cal.

En todo documento técnico o análisis técnico, deberá adjuntarse los gráficos y sustento técnico que ilustren objetivamente las mejoras obtenidas con cal hidratada, indicando claramente los porcentajes de participación y valores alcanzados con ello. Además se debe reportar resultados de la capacidad de soporte según la metodología “California Bearing Ratio - CBR” (Relación de Soporte de California), para evidenciar las mejoras.

Por ningún motivo se debe emplear más del 8% de cal en el suelo, ya que se aumenta la resistencia pero también la plasticidad.

Los suelos que se usen para la construcción de Suelo-Cal deben estar limpios y no deben tener más de tres por ciento (3%) de su peso de materia orgánica. Además la fracción del suelo que pasa la Malla N° 40 debe tener un índice de Plasticidad comprendido entre 10 y 50.

El tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo no debe ser mayor de 1/3 del espesor de la capa compactada de Suelo-Cal.

La cal que se use para la construcción de Suelo-Cal puede ser cal viva o hidratada y debe satisfacer los requisitos establecidos en la Especificación AASHTO M-216 o NTP Nº 334.125:2002 Cal viva y cal hidratada para Estabilización de Suelos.

El agua que se use para la construcción de Bases de Suelo - Cal debe estar limpia, no debe contener materia orgánica y debe estar libre de sales, aceites, ácidos y álcalis perjudiciales.

Los ensayos para determinar el porcentaje de cal y los demás requisitos que debe satisfacer la mezcla de suelo-cal deben ser ejecutados con los materiales que se vayan a usar, incluyendo el agua de mezclado. La aplicación de la cal puede variar entre 2% y 8% en peso de los materiales.

6.1.1.2 ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO

La adición de cemento, debe mejorar las propiedades mecánicas del suelo, sin llegar a condiciones de rigidez similares a morteros hidráulicos.

El profesional responsable debe verificar que los finos pasantes al tamiz N°200, en el suelo, se encuentre entre 5% y 35%, antes de ser mezclados con cemento.

Se pueden utilizar todos los tipos de cementos, pero en general se recomienda los de fraguado y endurecimiento normales.

En casos de querer contrarrestar los efectos de la materia orgánica, se empleará cementos de alta resistencia.

En zonas con bajas temperaturas, los suelos se mezclarán con cementos de fraguado rápido o con cloruro de calcio como aditivo.

La capa estabilizada con cemento tendrá un espesor mínimo de 10 cm, pudiendo recibir capas de cobertura (tratamiento superficial asfáltico) de poco espesor (1.5 cm) para tránsito ligero a medio o podrá servir de apoyo a un pavimento rígido o flexible de alta calidad, en el cual el suelo no debe contener materias perjudiciales al fraguado o la resistencia.

El suelo se deberá controlar con ensayos de granulometría, verificando que el límite líquido sea menor de 50% y el índice de plasticidad menor de 25%.

Los contenidos de cemento se determinarán mediante ensayos de compactación, durabilidad y compresión simple.

Para obtener una estabilización del tipo flexible, el porcentaje de cemento debe variar entre 1% a 4%, permitiendo disminuir la plasticidad e incrementar levemente la resistencia. Se controla mediante pruebas de laboratorio semejantes a las empleadas en materiales estabilizados con cal.

Para obtener una estabilización del tipo rígida, el porcentaje de cemento debe variar entre 6% a 14%, logrando mejorar el comportamiento de las bases, reflejado en el incremento de su módulo de elasticidad evitando fracturas de la capa de superficie. El porcentaje óptimo a emplear, se debe calcular con pruebas de laboratorio con diferentes contenidos de cemento.

El profesional responsable debe seleccionar y verificar el tipo de cemento, para los suelos de mediana a alta plasticidad.

Por la poca resistencia al desgaste, se deben emplear capas superficiales de protección.

Sólo si el pH (Potencial de Hidrógeno) del suelo es mayor de 12 y la cantidad de sulfatos menor que 0.75% se requerirá estabilizarse con cemento.

La fracción inferior del tamiz N°40, debe presentar un límite líquido menor a 40 y un índice plástico menor a 18, determinados según normas de ensayo MTC E 110 y MTC E 111.

La proporción de sulfatos del suelo, expresada como SO4 no debe exceder de 0.2%, en peso.

El agua debe ser limpia y estar libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias deletéreas. Su pH (Potencial de Hidrógeno), medido según norma NTP Nº 334.113:2002 Método de Ensayo para la determinación del cambio de longitud de barras de mortero, debido a la reacción entre el Cemento Portland y los agregados álcali - reactivos, debe estar comprendido entre 5.5 - 8.0 y el contenido de sulfatos, expresado como SO4= y determinado según norma NTP Nº 341.127:1975 Planchas gruesas de acero al carbono para servicio a temperaturas medianas y bajas para recipientes a presión, no debe ser superior a un gramo por litro (1 g/l).

La mezcla se debe diseñar mediante los ensayos de resistencia a la compresión simple y humedecimiento-secado en testigos, según las normas MTC E 1103 y MTC E 1104. En el primero de ellos, se debe garantizar una resistencia mínima de 1.76 MPa (18 Kg/cm²), a los siete (7) días de curado húmedo, mientras que en el segundo, el contenido de cemento deberá ser tal, que la pérdida de peso de la mezcla compactada, al ser sometida al ensayo de durabilidad (humedecimiento-secado), no supere los límites mostrados en el siguiente cuadro:

PÉRDIDA EN TESTIGOS DE COMPRESIÓN

Suelo por Estabilizar	Pérdida Máxima (%)
A-1; A-2-4; A-2-5; A3	14
A-2-6; A-2-7; A-4; A5	10
A-6; A-7	7

Clasificación AASHTO	Descripción
A-7-5 y A-7-6	Materiales orgánicos y arcillosos de alta compresibilidad
A-6	Materiales orgánicos de baja compresibilidad y limos de alta compresibilidad
A-5	Arcillas y limos de baja compresibilidad
A-4	Arenas arcillosas
A-3	Arena de pobre gradación
A-2-6 y A-2-7	Arenas limosas
A-2-4 y A-2-5	Arenas bien gradadas
A-1-b	Gravas de pobre gradación
A-1-a	Gravas bien gradadas

Fuente: Método de clasificación "American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)".

Si el material por estabilizar es totalmente de aporte, antes de proceder con la estabilización, se comprobará que la superficie que va a servir de apoyo tenga la densidad de 95% del ensayo de laboratorio según MTC E 115.

Los trabajos de compactación deberán ser terminados en un lapso no mayor de dos (2) horas desde el inicio de la mezcla. Si durante dicho plazo no se logran las condiciones de compactación exigidas más adelante (compactación) de esta especificación, el tramo se pondrá en observación y se considerará separadamente a los fines de los controles del Supervisor. La compactación deberá ser el 95% como mínimo, del ensayo Próctor Modificado.

Las estabilizaciones con cemento sólo se podrán llevar a cabo cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior a diez grados Celsius (10°C) y cuando no haya lluvia.

6.1.1.3 ESTABILIZACIÓN CON ASFALTO

Se empleará asfalto o bitumen, para lograr propiedades impermeabilizantes, adhesivas y de preservación, en el suelo. En suelos friccionantes puede considerarse, además de la química, estabilización mecánica.

La estabilización de cada suelo, debe ser investigada en forma independiente, a partir de la granulometría, plasticidad, densidad y otras propiedades del suelo. Para un peso específico del material igual a 1.64 gr/cm3, le debe corresponder 10% de asfalto y para 1.75 gr/cm3, no es necesaria su aplicación, tal como lo muestra a continuación el siguiente cuadro:

CONTENIDO DE ASFALTO PARA ESTABILIZAR

Contenido de asfalto (%)	0	2	4	6	8	10
Peso Específico del Material (gr/cm^3)	1.75	1.71	1.68	1.66	1.64	1.64

6.2 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE MÉTODOS FÍSICOS

Las estabilizaciones físicas se realizarán con el adecuado equipo mecánico, que debe ser establecido por el profesional responsable.

6.2.1 ESTABILIZACIÓN POR COMPACTACIÓN

El proceso de estabilización por compactación, se debe emplear en todas aquellas obras donde la materia prima es el suelo (base del corte de laderas, terraplenes, canales de agua, suelo de cimentación, rellenos artificiales, diques, terraplenes para vías, etc.).

El proceso debe producir lo siguiente:

• Aumentar la resistencia al corte para mejorar la estabilidad del suelo.
• Disminuir la compresibilidad para reducir los asentamientos.
• Disminuir la relación de vacíos para reducir la permeabilidad y así mismo el potencial de expansión, contracción o exposición por congelamiento.

En todo momento se tendrá en cuenta la prueba de compactación Proctor estándar o modificado con energía de compactación, de laboratorio, dado por la fórmula siguiente:

E = (N. n. P. h)/ V
Donde:
E = Energía de compactación
N = Número de golpes por capa
n = Número de capas de suelo
P = Peso del pisón
h = Altura de caída libre del pisón
V = Volumen de suelo compactado

Ensayo	Proctor Estándar	Proctor Modificado
Norma	NTP-339.142	NTP-339.141
Energía de Compactación	12,300 Lb.ft/ft3	56,250 Lb.ft/ft3.
Peso del martillo	5.5 lb	10 lb
Altura de caída del martillo	12 pulgadas	18 pulgadas
Número de golpes por capas	depende del molde	depende del molde
Número de capas	3	5
volumen del molde cm3	depende del método de prueba	depende del método de prueba

El Profesional Responsable deberá especificar una densidad mínima de compactación, expresada en porcentaje de la densidad máxima del ensayo Proctor Estándar o Modificado, de acuerdo a los requerimientos del proyecto. El control de densidad en el campo deberá realizarse empleando un equipo de cono de arena, un densímetro nuclear u otro método normado para dicho fin.

Los suelos también podrán ser estabilizados por otros métodos de acuerdo a la recomendación del Profesional Responsable y que cuenten con el sustento técnico que lo respalde.

A manera de resumen, ver Anexo Informativo 8.2

7 TALUDES

7.1 ESTABILIZACIÓN DE UN TALUD EXISTENTE

Para estabilizar un talud existente, es necesario que el Profesional Responsable establezca previamente las siguientes situaciones de inestabilidad:

• Talud existente aparentemente estable: Corresponde a las laderas modificadas y que por largo tiempo han permanecido estables.
• Talud en proyecto, o por construir: Modificación geométrica de las laderas con fines de sustento de obras de ingeniería civil.
• Talud con insuficiencia de estabilidad: Ladera modificada cuyo factor de seguridad a la estabilidad es menor a la unidad.
• Talud colapsado, a ser reconstruido: Corresponde a los taludes afectados por la geodinámica externa asociado al derrumbe

La solución geotécnica integral de estabilización del talud para cualquiera de las cuatro situaciones mencionadas incluirá necesariamente la formulación y desarrollo de dos componentes:

Componente 1: Evaluación de la condición de estabilidad del talud.

Componente 2: Metodología de estabilización y remediación del talud.

7.1.1 EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DE ESTABILIDAD DE UN TALUD

Para evaluar la condición de estabilidad del talud el Profesional Responsable incluirá el desarrollo de los siguientes criterios de evaluación:

• La mecánica de suelos.
• El comportamiento geodinámico del área.
• El flujo de agua.
• La geometría del talud y
• La topografía del entorno.

El Profesional Responsable deberá evaluar la condición de estabilidad del talud para solicitaciones

estáticas y sísmicas. El factor de seguridad mínimo del talud deberá ser 1.5 para solicitaciones estáticas y 1.25 para solicitaciones sísmicas. Si estos factores de seguridad no son cumplidos, el Profesional Responsable deberá seleccionar un método de estabilización o la combinación de varios métodos de estabilización y probarlos hasta que la solución propuesta alcance la aprobación de ambos factores de seguridad. La solución de forma complementaria, pero necesaria, deberá prever protección adecuada de la superficie del talud contra la erosión.

Las propiedades físicas y mecánicas de los materiales geotécnicos se determinarán mediante ensayos de campo y laboratorio, de acuerdo al tipo de material e importancia de la obra, cuya decisión es responsabilidad del Profesional Responsable. Será necesario tener en cuenta los modos operativos correspondientes a cada ensayo y a cada necesidad.

Para el análisis de estabilidad de los taludes en roca y suelos será necesario realizar los estudios geotécnicos, que permitan caracterizar los materiales y evaluar los parámetros de diseño que el Profesional Responsable considere necesario, a fin de obtener la estabilidad del talud.

Las cargas sísmicas pueden generar problemas de movimientos del talud. Un sismo establece mayor probabilidad de riesgo de ocurrencias de geodinámicas externas. El Profesional Responsable en su estudio deberá detallar aquellas zonas identificadas como críticas. El coeficiente sísmico para el análisis seudo estático corresponderá a un sismo de 475 años de periodo de retorno.

7.1.2 METODOLOGÍA DE ESTABILIZACIÓN Y REMEDIACIÓN DEL TALUD

Determinada la condición de estabilidad del talud, el Profesional Responsable seleccionará y aprobará el método o la combinación de métodos de estabilización que, de acuerdo a su análisis, muestren potencialidades suficientes para estabilizar y remediar el talud. Dichos métodos deberán mostrar su eficacia y eficiencia, teniendo que nuevamente ser verificada la condición de estabilidad del talud para condiciones estáticas y seudo estáticas. Asimismo, el Profesional Responsable desarrollará y recomendará si es necesario incorporar a la solución integral un método de control contra la erosión, a fin de otorgarle sostenibilidad a la solución de estabilización del talud.

Los métodos de estabilización y remediación de taludes serán establecidos de acuerdo a la identificación de peligros y los resultados de la evaluación de los mecanismos que generan la inestabilidad del mismo. Se podrán aplicar los siguientes métodos:

- Por disminución de las presiones hidrostáticas
- Por disminución de los esfuerzos cortantes solicitantes
- Por introducción de fuerzas resistentes
- Por mejoría de las propiedades del depósito y/o macizo
- Por incorporación de inhibidores o controladores de energía de caída

Sin embargo, otros métodos podrán ser empleados también bajo responsabilidad del Profesional Responsable.

7.2 ESTABILIZACIÓN DE UN TALUD RECIÉN CORTADO

7.2.1 CÁLCULO DE EMPUJES

El Profesional Responsable debe aplicar las herramientas correspondientes al cálculo de los empujes en sus diferentes estados, que permita la determinación de los elementos de contención más adecuados. Ver Anexos Informativos 8.3 y 8.4.

7.2.2 DISEÑO GEOTÉCNICO DE MUROS

El Profesional Responsable debe pre dimensionar y diseñar geotécnicamente un tipo de muro, considerando como mínimo, las etapas siguientes:

- Seguridad al posible vuelco del muro.
- Seguridad al posible deslizamiento del muro.
- Seguridad de la cimentación del muro:
- Capacidad resistente de la base
- Deformación (asentamiento)

El diseño del muro debe presentar seguridad al vuelco, deslizamiento y se deberá evaluar la capacidad de carga

Ver Anexos Informativos 8.5, 8.6, 8.7 y 8.8

7.2.3 DRENAJE Y SUBDRENAJE

Todo diseño de muro debe garantizar el drenaje del relleno del muro, evacuando las aguas o evitando que éstas ingresen. Ver Anexo Informativo 8.9.

Para impedir que el agua se introduzca en el relleno, en la etapa de proyecto y/o construcción, debe realizarse lo siguiente:

- Localizar los lugares de donde proviene el agua, con la finalidad de tomar las medidas pertinentes para evitar que el material se sature.
- Desviar el agua alejándola del relleno, en lo posible con zanjas de coronación, que evacuen el agua hacia los lados del talud sin causar erosión.
- Proteger la superficie del relleno, mediante sistemas de absorción del agua excedente que desequilibre el talud, Ver Anexo Informativo 8.1.
- Colocar drenes interceptores de posibles filtraciones subterráneas, que no aumenten los empujes no previstos en la etapa de diseño.

7.2.4 ENTIBACIONES

Se debe emplear entibaciones en toda obra, que requiera excavaciones en materiales deleznables que ponga en riesgo la vida humana. Este sistema será del tipo temporal durante el proceso constructivo de obras de ingeniería civil. Ver Anexo Informativo 8.10.

8 ANEXOS INFORMATIVOS

8.1 VEGETACIÓN PARA TALUDES

Tipo	Ventajas	Desventajas
Pastos	Versátiles y baratos; variedades para escoger con diferentes tolerancias; fácil de establecer; buena densidad de cobertura.	Raíces poco profundas y se requiere mantenimiento permanente.
Juncos	Crecen rápidamente y son fáciles de establecer.	Difíciles de obtener y el sistema de plantación no es sencillo.
Hierbas	Raíz relativamente profunda.	Algunas veces son difíciles de establecer y no se consiguen raíces.
Arbustos	Variedades para escoger. Existen especies que se reproducen por estaca. Raíz profunda buena cobertura, bajo mantenimiento.	Algunas veces son difíciles de establecer.
Árboles	Raíces profundas, no requieren mantenimiento,	Es demorado su establecimiento y generalmente son más costosos.
Gel germinador de plantas	Fácil aplicación. Forestación iniciada con semillas según tipo a emplear.	Costo inicial elevado. Requiere de mantenimiento periódico.

8.2 ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

MATERIAL	TIPOS DE ESTABILIZACIÓN			
	MECÁNICA	CON CEMENTO	CON CAL	CON EMULSIÓN
Grava	Puede ser necesaria la adición de finos para prevenir desprendimiento.	Probablemente no es necesaria, salvo si hay finos plásticos. Cantidad de 2 a 4%.	No es necesaria, salvo que los finos sean plásticos. Cantidad de 2 a 4%.	Apropiada si hay deficiencia de finos. Aproximadamente 3% de asfalto residual.
Arena limpia	Adición de gruesos para dar la estabilidad y de finos para prevenir desprendimientos.	Inadecuada: produce material quebradizo.	Inadecuada: no hay reacción.	Muy adecuada: De 3 a 5% de asfalto residual.
Arena arcillosa	Adición de gruesos para mejorar resistencia.	Recomendable 4 - 8%	Es factible dependiendo del contenido de arcilla.	Se puede emplear de 3 a 4% de asfalto residual.
Arcilla arenosa	Usualmente no es aconsejable	Recomendable 4 - 12%	4 a 8% dependiendo del contenido de arcilla.	Se puede emplear pero no es muy aconsejable.
Arcilla	Inadecuada	No es muy aconsejable. La mezcla puede favorecerse con un mezcla con 2% de cal y luego entre 8 y 15% de cemento.	Muy adecuada. Entre 4 y 8% dependiendo de la arcilla.	Inadecuada.

Nota.- Conviene tomarlo como partida para los trabajos de investigación sobre estabilidad.

8.1 MÉTODO DE RANKINE (ω=β=δm=0) - EMPUJE DE TIERRAS

Tipo de Empuje	Condición necesaria	Estado Tensional	Modelo utilizado del suelo	Condición del suelo	Empuje	Coeficiente de empuje de tierra K_0	Observación	Efecto de sobrecarga (P_s)
Reposo (P_o)	No hay deformación lateral	Alejado de la falla	Lineal	Equilibrio elástico	$P_o = K_0 \gamma z$	$K_o = \frac{\upsilon}{1-\upsilon}$	$\upsilon \in [0,05]$ $k_o \in [0,1]$	
Activo (P_a)	Presenta deformación lateral	Falla	Plástico	ϕ	$P_a = k_a.\gamma.z$	$K_a=tg^2\left(45-\frac{\phi}{2}\right)$		$P_s = K_a q$ o $h_s = \frac{q}{\gamma}$
				c	$P_a = \gamma z - 2c$			
				c, ϕ	$P_a= k_a\gamma z-2c\sqrt{k_a}$			
Pasivo (P_p)	Presenta deformación lateral	Falla	Plástico	ϕ	$P_p = k_p\gamma z$	$K_p=tg^2\left(45+\frac{\phi}{2}\right)$	$P_p \approx 10 . P_a$	$P_s = K_p q$ o $h_s = \frac{q}{\gamma}$
				c	$P_p = \gamma z + 2c$			
				c, ϕ	$P_p=k_p\gamma z+2c\sqrt{k_p}$			

Fórmulas empíricas:
$K_o = 1 - \text{sen } \phi$
$K_o = \lambda + \alpha(OCR - 1)$

donde:
$\lambda = 0.54 + 0.0044 (w_L - 20)$; $\lambda = 1$ si $w_L>110\%$
$\alpha = 0.09 + 0.00111 (W_L - 20)$; $\alpha = 0.19$ si $w_L>110\%$

$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} = \frac{\text{Tensión de pre - consolidación}}{\text{Tensión de peso propio}}$$

Para $\omega\neq0$, $\beta\neq0$, $\delta m\geq\beta$ en suelos c,ϕ, c-ϕ:

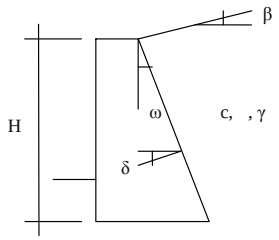
$$Ka = \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}.\cos\beta$$

$$Kp = \frac{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}.\cos\beta$$

Efecto de la sobrecarga: Método de la altura equivalente

$$h_s = \frac{q}{\gamma}.\frac{\cos\omega..\cos\beta}{\cos(\omega-\beta)}$$

SUELO	K_0
Arcilla Blanda	0,6 ~ 0,82
Arcilla Dura	0,5 ~ 0,8
Grava, Arena Suelta	0,54
Grava, Arena Compacta	0,33



8.1 MÉTODO DE LA ESPIRAL LOGARÍTMICA

Este método considera una superficie de falla con la forma de una espiral logarítmica. Además considera la fricción existente entre el muro y el suelo. (Fuente: US Navy NAVFAC DM 7.02 Foundations and Earth Structures, Ch. 3, Sect. 2)

Los coeficientes de fricción típicos están mostrados en la siguiente tabla.

TABLA: FACTORES DE FRICCIÓN Y ADHESIÓN PARA MATERIALES DISTINTOS

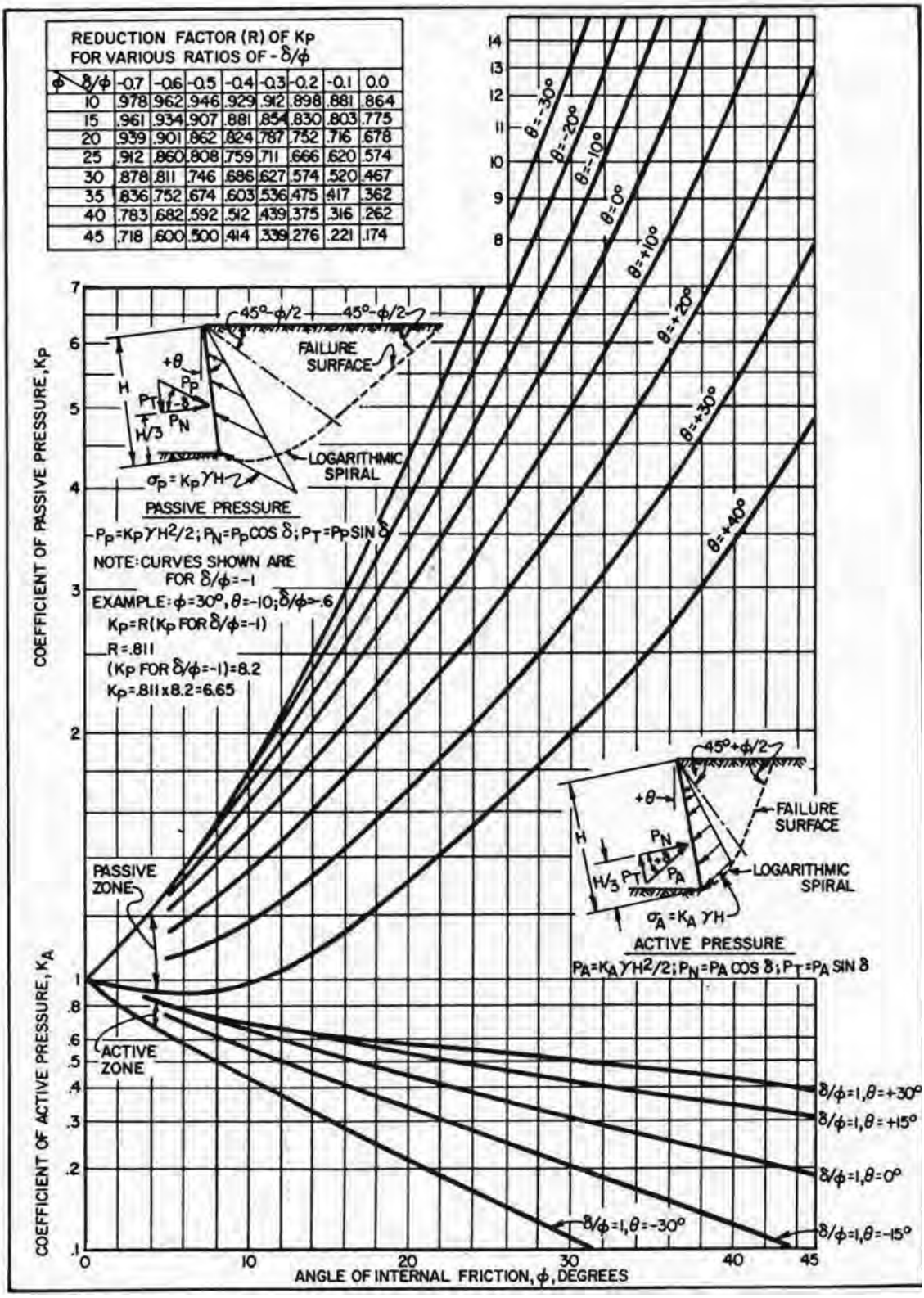
Materiales de interfase	Factor de fricción (tan δ)	Angulo de fricción δ
Concreto o albañilería con los siguientes materiales de fundación:		
Roca intacta, limpia	0.70	35
Grava limpia, mezclas de grava y arena, arena gruesa	0.55 a 0.60	29 a 31
Arena limpia fina a media, arena limosa media a gruesa, grava limosa o arcillosa	0.45 a 0.55	24 a 29
Arena limpia fina, arena limosa o arcillosa fina a media	0.35 a 0.45	19 a 24
Limo arenoso fino, limo no plástico	0.30 a 0.35	17 a 19
Arcilla muy compacta y dura, arcilla preconsolidada	0.40 a 0.50	22 a 26
Arcilla medianamente compacta a compacta y arcilla limosa	0.30 a 0.35	17 a 19
Tablestacado de Acero con los siguientes suelos:		
Grava limpia, mezclas de grava y arena, relleno de roca bien graduado con grava triturada	0.40	22
Arena limpia, mezcla limosa de arena y grava, relleno uniforme de roca dura	0.30	17
Arena limosa, grava o arena mezclada con limo o arcilla	0.25	14
Limo arenoso fino, limo no plástico	0.20	11
Concreto vaciado y tablestacado de concreto con los siguientes suelos:		
Grava limpia, mezclas de grava y arena, relleno de roca bien graduado con grava triturada	0.40 a 0.50	22 a 26
Arena limpia, mezcla limosa de arena y grava, relleno uniforme de roca dura	0.30 a 0.40	17 a 22
Arena limosa, grava o arena mezclada con limo o arcilla	0.30	17
Limo arenoso fino, limo no plástico	0.25	14

Para muro con superficie de contacto inclinada y terraplén horizontal se debe utilizar la siguiente Figura 1, a fin de obtener los coeficientes de empuje activo y pasivo.

En el caso de empuje pasivo, se da los valores de Kp para δ/φ=-1. Para valores distintos se debe corregir el valor de Kp según la tabla que se muestra a continuación.

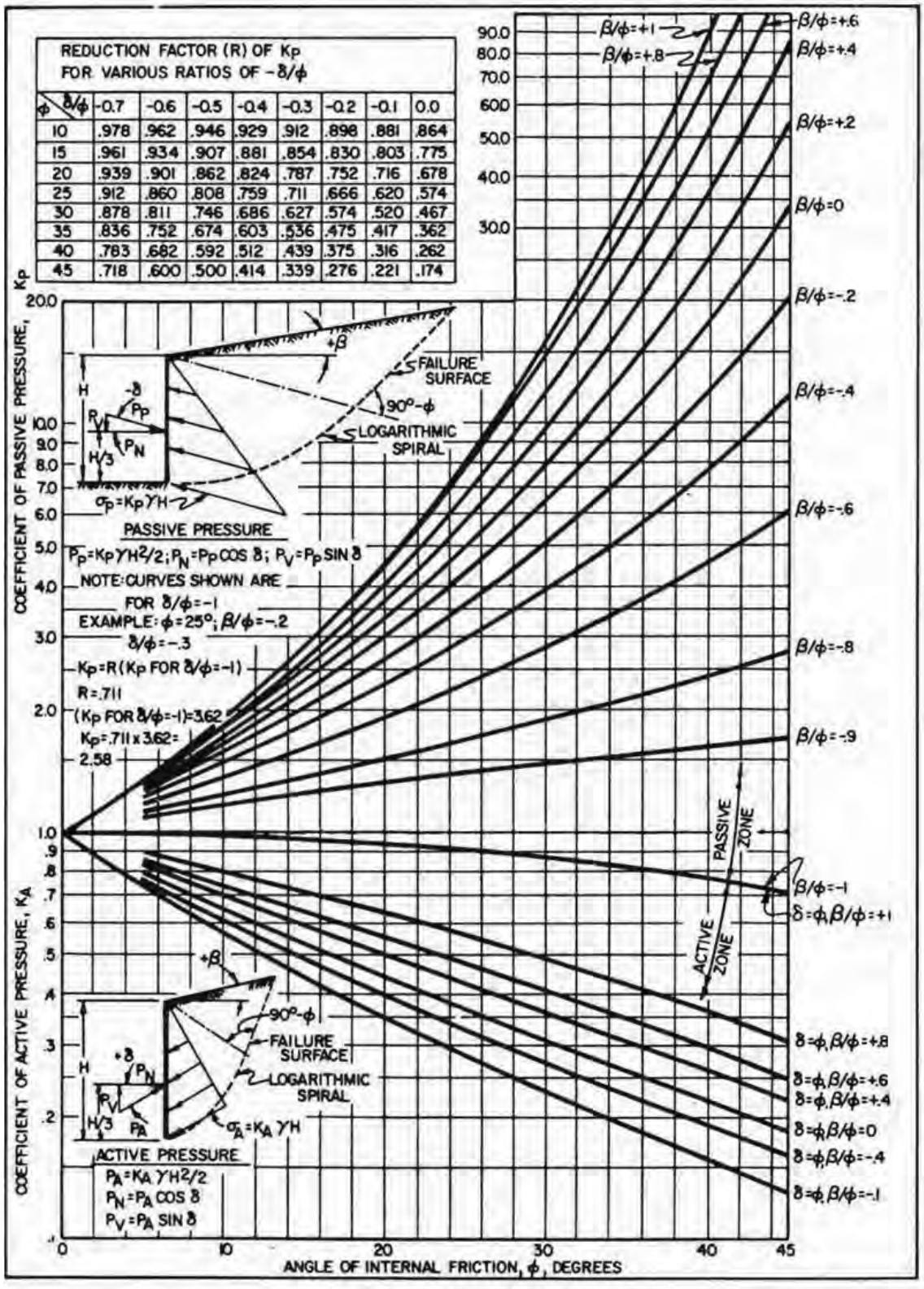
En el caso de empuje activo, se da el valor de Ka directamente.

Figura 1: Coeficientes activo y pasivo (muro con fricción, muro inclinado, terraplén horizontal)
δ = ángulo de fricción entre el suelo y la pared
θ= ángulo de inclinación del muro
φ= ángulo de fricción interna

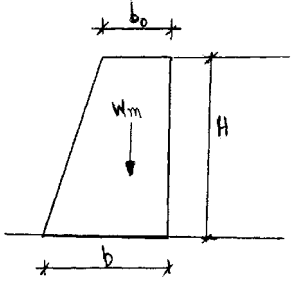
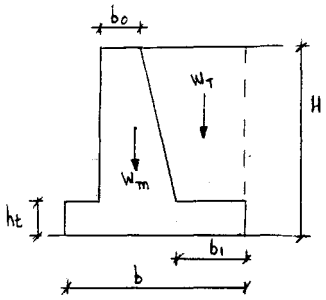
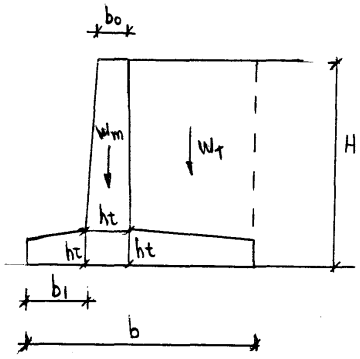
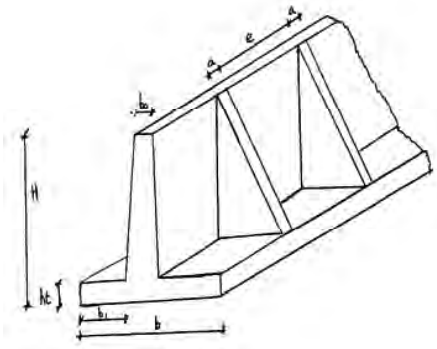


Para muro vertical con terraplén inclinado se debe utilizar la Figura 2, adjunta en este mismo numeral, denominada "Coeficientes activo y pasivo (muro con fricción, muro vertical, terraplén inclinado)".
En el caso de empuje pasivo, se da los valores de KP para δ/φ=-1. Para valores distintos se debe corregir el valor de Kp según la tabla que se muestra a continuación.
En el caso de empuje activo, se da el valor de Ka directamente.

Figura 2: Coeficientes activo y pasivo (muro con fricción, muro vertical, terraplén inclinado)
δ = ángulo de fricción entre el suelo y la pared
φ = ángulo de fricción interna
β = ángulo del talud detrás del muro



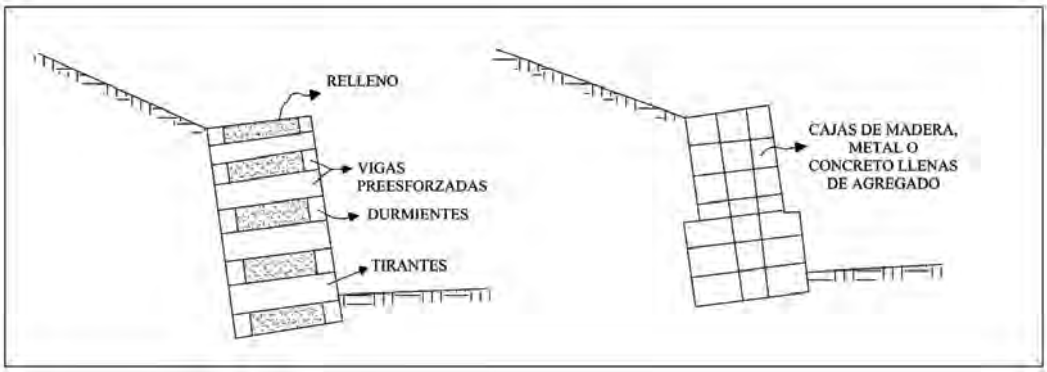
8.5 PRE DIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE SOSTENIMIENTO

Tipo	Esquema	Predimensiones
MUROS DE GRAVEDAD H ≤ 5 m		b_o = (0,25 ~ 0,3) H b = (0,4 ~ 0,6) H
MUROS DE SEMIGRAVEDAD H ≤ 5 m		b = (0,5 ~ 0,7) H b_o = 0,3 ~ 0,5 m ht = (⅛ ~ $^1/_{16}$) H b_1 = 0,5 ht
MUROS EN VOLADIZO H ≤ 10 m		b_o = 0,2 ~ 0,5 m b_1 = (¼ ~ ⅓)B ht = (⅛ ~ $^1/_{12}$) H b = (0,4 ~ 0,7)H
MUROS EN VOLADIZO CON CONTRAFUERTES H > 10 m		b_o = 0,2 ~ 0,3 m b_1 = (¼ ~ ⅓)H ht = ($^1/_{14}$ ~ $^1/_{12}$) H b = (0,4 ~ 0,7)H e = (0,3 ~ 0,6)H a = 0,2 m

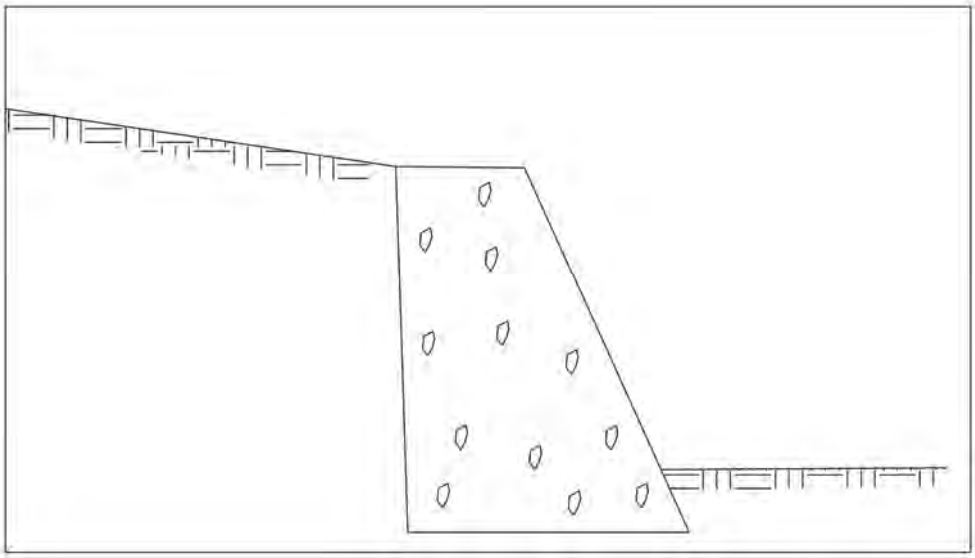
Nota: En caso de optar por otra alternativa que no figure en el cuadro (por ejemplo Muro Pantalla), el Profesional Responsable deberá efectuar el diseño adecuado para su empleo.

MUROS SEGÚN MATERIAL Y TECNOLOGÍA CONSTRUCTIVA

- **DENTRO DE LOS MUROS DE GRAVEDAD Y SEMIGRAVEDAD**



Muros Encribado Muros de Gaviones



Muros de Concreto Masivo

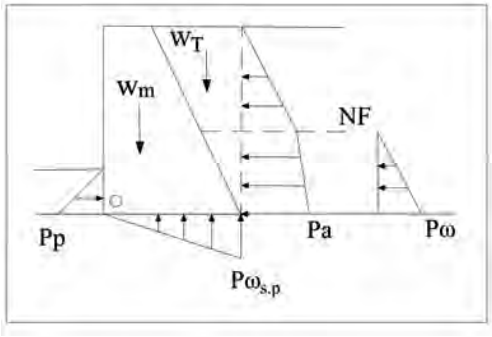
- **DENTRO DE LOS MUROS EN VOLADIZO Y VOLADIZO CON CONTRAFUERTES.**



Muros de Tierra Armada Muros de Concreto Reforzado

8.6 MÉTODO DEL FACTOR DE SEGURIDAD GLOBAL (FSG).

- **CRITERIO DE VUELCO.-** Se deberá cumplir lo siguiente:



$$\textbf{F.S.}_{\text{VUELCO}} = \frac{\Sigma M_{0\ \ FUERZAS\ \ ESTABILIZANTES}}{\Sigma M_{0\ \ FUERZAS\ \ DESESTABILIZANTES}} \geq 2.0$$

$$\Sigma M_{0FUERZAS\ EST.} = f(P_p, W_m, W_T)$$

$$\Sigma M_{0FUERZAS\ DESEST.} = f(P_a, P_w, P_{WS,P})$$

- **CRITERIO DE DESLIZAMIENTO.-** Se deberá cumplir lo siguiente:

$$\textbf{F.S.}_{\text{DESLIZAMIENTO}} = \frac{\Sigma F_{H\ \ RESISTENTES}}{\Sigma F_{H\ \ ACTUANTES}} \geq 1.5$$

La fuerza horizontal resistente, será el menor valor obtenido de las dos expresiones siguientes.

$$\Sigma F_{M\ RESISTENTES} = \begin{cases} \Sigma F_v .tg\delta + ca.b \\ \Sigma F_v .tg\phi + c.b \end{cases}$$

Donde:

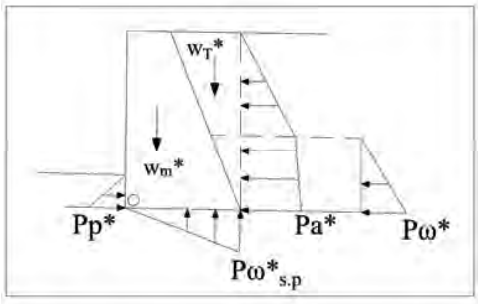
δ = Coeficiente de fricción muro-suelo.
ca = Adherencia
ca = 0,9 c para c < 50 kPa (0,5 Kg/cm^2)
ca = 0,9+0,6(0,49c-1) para c > 50 kPa (0,5 Kg/cm^2)
b = Ancho de la base del muro.
ΣF_v = Sumatoria de fuerzas verticales.
Ø = Angulo de fricción interna del suelo de la base.
c = Cohesión del suelo de la base.

Valores de δ Muro – Suelo

Material	δ
Madera	22º
Concreto Rugoso	Ø
Concreto Liso	17º
Acero Limpio	11º
Acero Herrumbroso	22º

- **DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN.-** Se seguirá lo establecido por la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones.

8.7 MÉTODO DE LOS ESTADOS LÍMITES



- **CRITERIO DE VUELCO.-** Se deberá cumplir lo siguiente:

$$\Sigma M_{0\ FERAS\ DESESTABILIZANTES} \leq \frac{\Sigma M^{*}_{0\ FUERZAS\ ESTABILIZANTES}}{\gamma s_{VUELCO}}$$

$\Sigma M_{0\ FERAS\ DESESTABILIZANTES} = f(\ _m,\ \ , P\ p_c)$

$\Sigma M_{0\ FERAS\ DESESTABILIZANTES} = f(P_a, P\ \ , P_{sp})$

- **CRITERIO DE DESLIZAMIENTO.-** Se deberá cumplir lo siguiente:

$$\Sigma F_{H\ actuantes} \leq \frac{\Sigma F^{*}_{H\ RESISTENTES}}{\gamma s_{DESLIZ.}}$$

Donde:

$\Sigma F_{H\ actuantes} = f(P_a, P_s, P\ \ , -P_p)$

$\Sigma F_{H\ resistentes} = \Sigma F\ \ .tg\varphi + 0{,}75\ c\ b$

$\Sigma F\ \ = f(\ _m, -P_{sp})$

MAYORACIÓN O MINORACIÓN DE PARÁMETROS PARA DISEÑO DE MUROS

Tipo	Fórmula	Donde	Observación
Peso del Muro	$_m = 0{,}9\ _m$		
Empu e Pasivo	$P\ p_c = \gamma\ .z.\ K\ p / 2$	$\gamma^* = \frac{\gamma}{\gamma_{gr}}$	$\gamma_{gv} = 1{,}05$
Empu e Activo	$P\ a = \gamma\ .z.K\ a$	$\gamma\ = \gamma.\ \gamma_{gv}$	
Coef. de Presión Lateral Pasivo	$K_p = tg^2(45 + \varphi/2)$	$\varphi\ = tg^{-1}(tg\varphi/\gamma_{gtg\varphi})$	Suelo c-φ: $\gamma_{gtg\varphi} = 1.15$ Suelo φ: $\gamma_{gtg\varphi} = 1.10$
Coef. de Presión Lateral Activo	$K\ a = tg^2(45 - \varphi/2)$	$\varphi\ = tg^{-1}(tg\varphi/\gamma_{gtg\varphi})$	
Cohesión	$c\ = \frac{c}{\gamma_{gc}}$	$\gamma_{gc} = 1,\ 5$	
Empu e debido a la Sobrecarga	$P_s =\ .K\ a$	$P_s =\ .\gamma_f\ .K\ a$	Para carga muerta: $\gamma_f = 1{,}4$
Empu e debido del agua	$P\ \ = \gamma_\omega.z$	$P\ \ = P$	
Empu e debido a la subpresión	$P\ _{sp} = P\ _{sp}$		

VALORES DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD ADICIONAL

Condiciones de trabajo encontradas	Tipo de fallo	Y_S
Favorables	Leve	1
	Grave	1.05
	Muy Grave	1.05
Normales	Leve	1.05
	Grave	1.05
	Muy Grave	1.1
Desfavorables	Leve	1.05
	Grave	1.1
	Muy Grave	1.1

Nomenclatura:
W*m = peso del muro minorado
Wm = peso del muro
P*pc = empuje pasivo minorado de cálculo
C* = cohesión
φ * = ángulo de fricción interna
γ* = peso unitario del suelo
z = altura de análisis
K*p = coeficiente de presión lateral pasivo

$$K^*p = tg^2 (45 + \varphi^*/2)$$

P*a = empuje activo mayorado
K*a = coeficiente de presión lateral activo

$$K^*a = tg^2 (45 - \varphi^*/2)$$

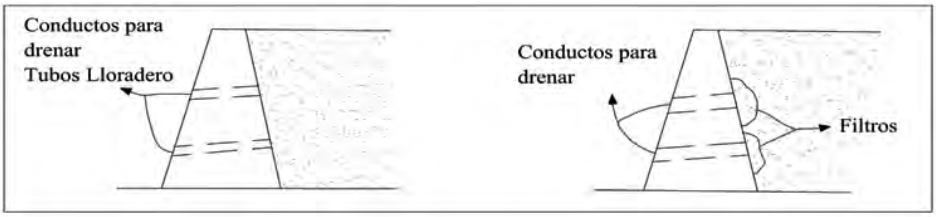
P*s = empuje debido a la sobrecarga
q* = sobrecarga unitaria
P*w = empuje debido al agua
γω = peso unitario del agua
P*wsp = empuje debido a la supresión

$\gamma_{g\gamma}$ = factor de corrección debido al peso unitario
$\gamma_{gtg\,\varphi}$ = factor de corrección debido al ángulo de fricción interna
γ_{gc} = factor de corrección debido a la cohesión
γ_f = factor de corrección por carga muerta

γ_S = factor de corrección por condición de trabajo tipo de falla

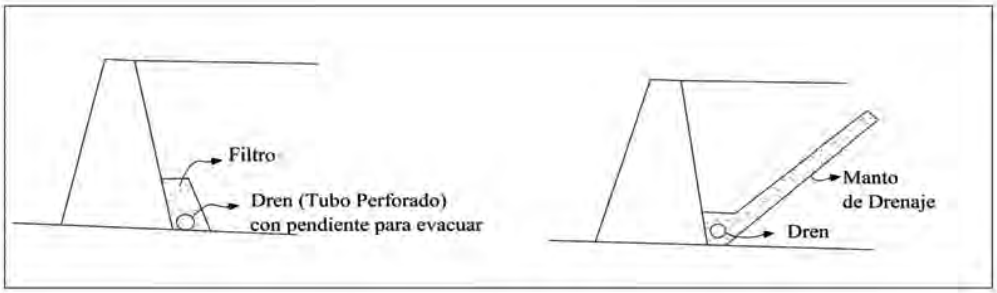
8.8 OPCIONES DE DRENAJE

El agua podrá ser drenada mediante las siguientes opciones u otras que el PR considere adecuadas:



a. Conductos para drenar

b. Conductos para drenar con filtro

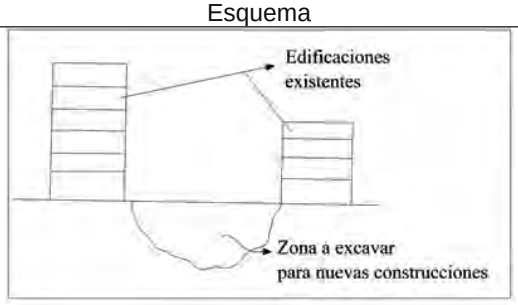
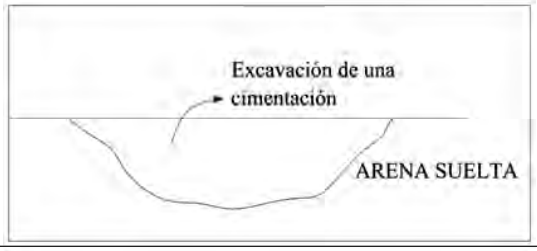
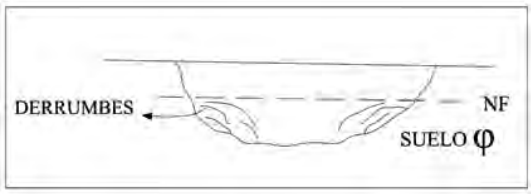


c. Dren Lateral

d. Manto de drenaje con Dren lateral

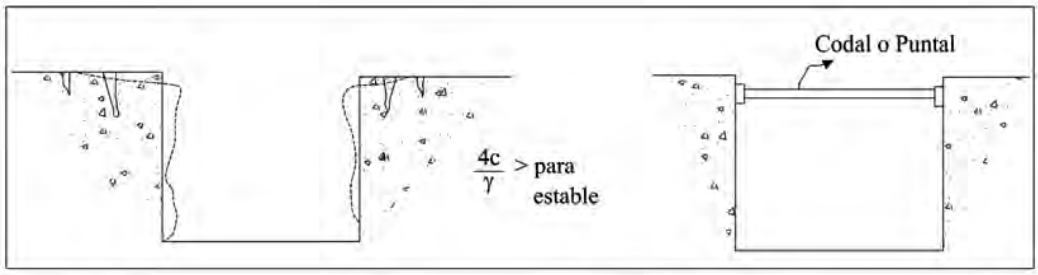
8.9 ENTIBACIONES

- **EXCAVACIONES TIPICAS QUE REQUIEREN ENTIBACIÓN**

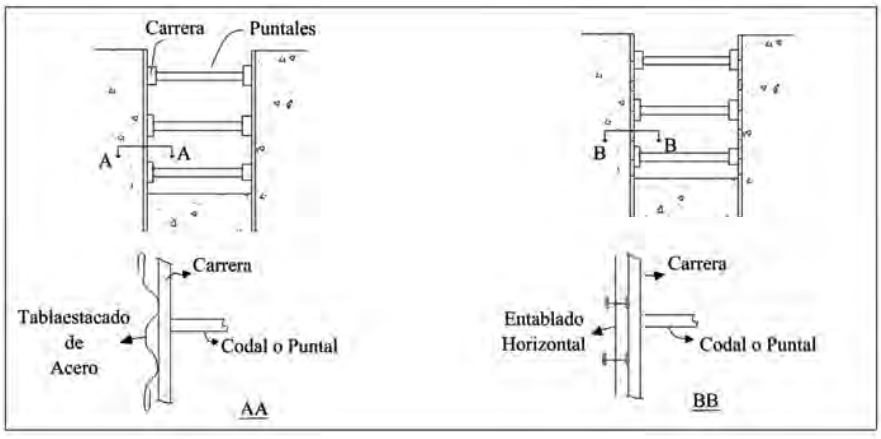
Descripción	Esquema
Excavaciones en zonas con construcciones cercanas	
Excavaciones en arenas sueltas en zonas protegidas	
Excavaciones en suelos friccionantes con NF. alto	

- **TIPOS DE ENTIBACIONES**

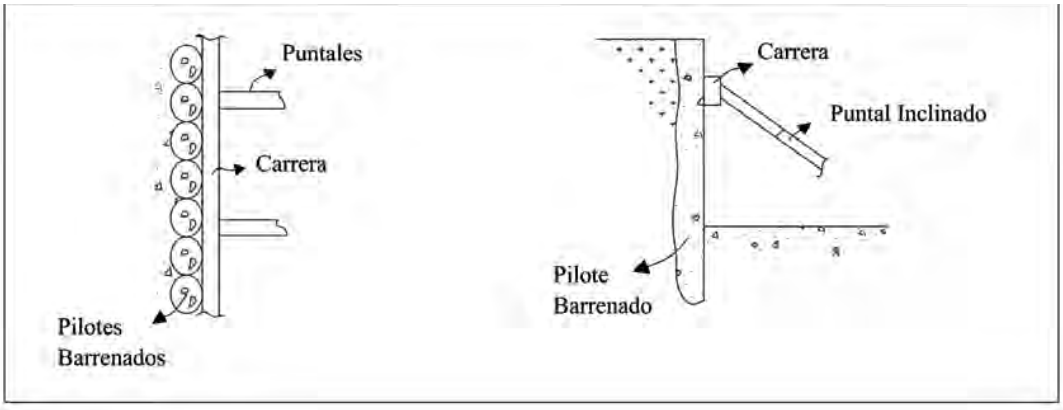
Entibaciones Parciales: En suelos cohesivos, se empleará entibaciones parciales, donde existan problemas de grietas de tensión.



Entibaciones Totales: En suelos deleznables que necesitan entibaciones completas, se podrá emplear entibaciones tipo Tablestacas verticales, Tableros Horizontales o Pilote Barrenado u otras que el Profesional Responsable considere adecuadas:

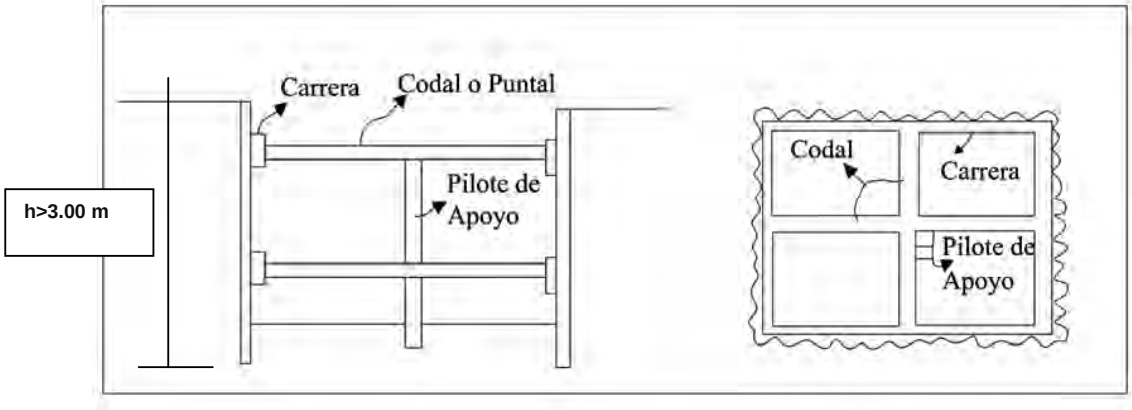


(1) Tablestacado Vertical de Acero. (2) Entablado Horizontal

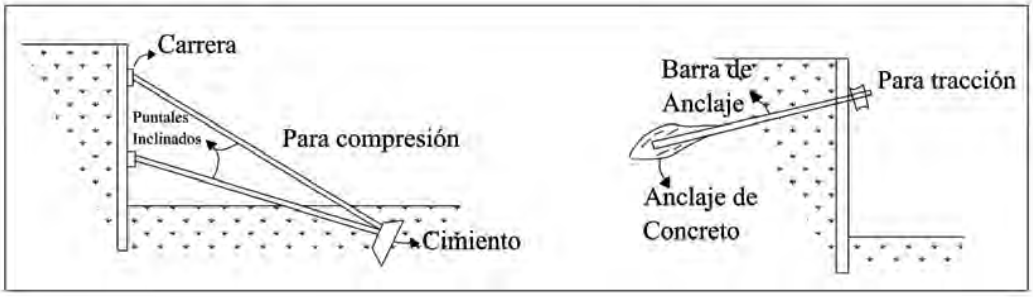


(3) Planta y elevación de Pilote Barrenado

Sistema de Soporte en la Entibación: En excavaciones poco profundas menores de 3.0 m, con sistema de entibación empotrado, el empleo de codales o puntales, será opcional, no así para profundidades mayores a 3.0 m.



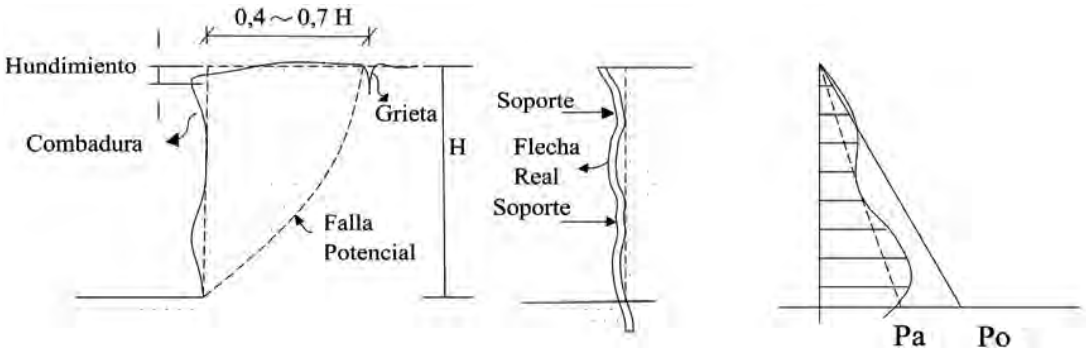
Elevación y planta de entibación cruzada



Puntales inclinados con Cimentación temporal

Soporte con anclaje a Tierra

- **DEFORMACIÓN Y EMPUJE**



a.- Hundimiento, combadura y agrietamiento en una excavación sin entibación

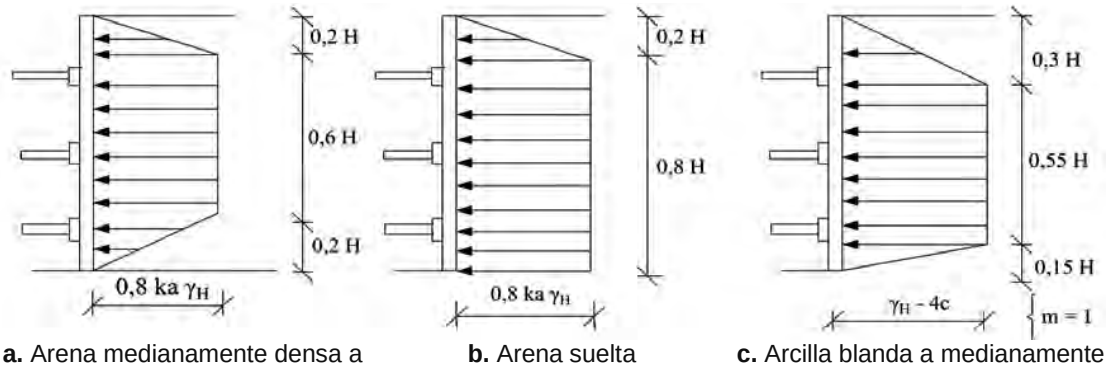
b.- Flecha del paramento de una excavación entibada

c.- Distribución de empujes de tierra

8.10 DISEÑO DE LA ENTIBACION

Con la finalidad de diseñar la entibación a manera práctica, se atenderá las recomendaciones mostradas en los gráficos siguientes:

- **DISTRIBUCIONES DE EMPUJES EMPÍRICAS**



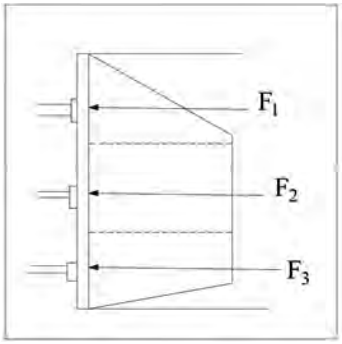
a. Arena medianamente densa a densa **b.** Arena suelta **c.** Arcilla blanda a medianamente firme

Donde:

H : Altura de la entibación.
ka : coeficiente de presión lateral activa
Y : peso unitario del suelo
c : cohesión

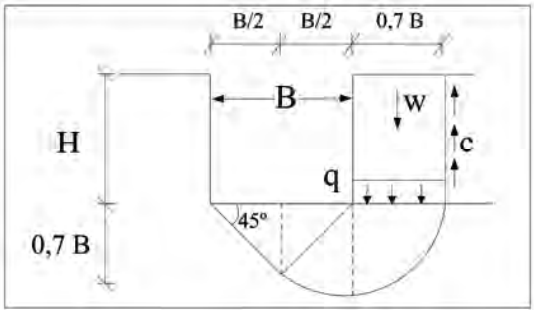
- **EMPUJE EN EL PUNTAL**

El diseño de la entibación, se debe realizar considerando las áreas tributarias del gráfico de empuje que toma cada puntal.



- **ESTABILIDAD DEL FONDO DE LA EXCAVACIÓN**

Para el caso de arcillas blandas y peligro que el suelo ceda hacia arriba:



$$q = \gamma H - \frac{c.H}{0,7B}$$

Para arcilla blanda $q_0 = 5c$, y el Factor de Seguridad Global contra el fallo por estabilidad del fondo de la excavación será:

$$F.S = \frac{q_0}{q} = \frac{5c}{\gamma H - cH/0,7B} \geq 1,5$$