

BIBLIOTECA POPULAR DE SISMOLOGÍA VENEZOLANA

Vivienda segura ante amenazas naturales

Caracterización y acondicionamiento del terreno

Daniel Salcedo Rodríguez




funvisis
Fundación Venezolana de
INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS



Gobierno Bolivariano
de Venezuela

Ministerio del Poder Popular
para Ciencia, Tecnología e Innovación

Daniel Salcedo Rodríguez

Ingeniero Geólogo, Universidad Central de Venezuela 1968. Master of Science en Ingeniería Civil, University of Missouri-Rolla 1971, en la especialidad de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Fundaciones. Profesor invitado e investigador asociado en mecánica de rocas, University of California-Berkeley (1981). Profesor de pregrado Universidad Central de Venezuela (1971-1998). Desde 1974, Profesor de postgrado en Geotecnia y Estructuras, Universidad Simón Bolívar. Profesor invitado a postgrado en Geotecnia, Universidad Industrial de Santander, Colombia (2011). Desde 1976 es presidente de la empresa Ingeotec, Ingenieros Geotécnicos Consultores, realizando múltiples estudios y proyectos geológico-geotécnicos relacionados con desarrollos urbanos, vialidad, túneles, presas, y problemas de deslizamientos. Consultor en el área de Geotecnia y Prevención de Desastres en distintos países de Centro y Sudamérica para el Banco Mundial y para el Banco Interamericano de Desarrollo. Más de 40 publicaciones técnicas en boletines técnicos y congresos tanto a nivel nacional como internacional, conferencista principal invitado para Conferencias Internacionales y en universidades nacionales e internacionales.

Correo-e: dansalc@gmail.com

Los señalamientos, las recomendaciones y demás especificaciones incluidos en este fascículo, no sustituyen la asistencia técnica de profesionales especialistas en el diseño y construcción de una vivienda segura.

V i v i e n d a s e g u r a a n t e a m e n a z a s n a t u r a l e s

Caracterización y acondicionamiento del terreno

Daniel Salcedo Rodríguez



B I B L I O T E C A P O P U L A R D E S I S M O L O G Í A V E N E Z O L A N A

Primera edición 2014
©Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas - FUNVISIS

Hecho el Depósito de Ley

ISBN 978 - 980 - 6069 - 24 - 4

Dep. Legal: Ifi8102014551571

Proyecto Fonacit N° 2011000438
(Proyectos Estratégicos 2011)
“La vivienda segura ante las amenazas naturales y otros riesgos: fascículos para la construcción popular”
Impreso con recursos del Centro Nacional de Investigación y Certificación en Vivienda, Hábitat y Desarrollo Urbano (Cenvih)

Proyecto:
Víctor H. Cano P.
Francisco Garcés
Alejandro López
Oscar A. López
Guy Vernáez

Coordinación General:
Ana Rosa Massieu

Comité editorial:
Víctor H. Cano P.
Antonio Conti
Jorge González
Oscar A. López
Alejandro López
Ana Rosa Massieu

Secretaria
Milagros Naveda

Asesoría del Proyecto Editorial:



Edición, revisión y coordinación de producción: *Helena González*

Diseño, diagramación: *Michela Baldi*

Concepto gráfico: *Douglas Muñoz, Michela Baldi*

Fotografías de portada:

Foto de fondo: Daniel Salcedo Rodríguez: Barrio 19 de Abril, Plan de Manzano.
Carretera Vieja Caracas - La Guaira, 2010. Fotos pequeñas de izquierda a derecha:
Puerto La Cruz, Estado Anzoátegui, 2003; La Guairita, Estado Miranda, 2012;
Carretera Vieja Caracas - La Guaira, 2012.

Todas las fotografías en este fascículo son del autor, salvo que se indique lo contrario.

El autor desea agradecer a los ingenieros Josefina Ortas, Nelson Rodríguez D. y Luis Scremin, por su cooperación y consejos durante la elaboración del presente fascículo.



Proyecto financiado por Fonacit en el marco de la Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación (LOCTI)

Presentación

Venezuela está sujeta a la acción de amenazas naturales y tecnológicas, como aludes torrenciales, inundaciones, deslizamientos, terremotos e incendios, eventos que sumados a las limitaciones de la planificación territorial y de la construcción popular, conllevan la posibilidad de que ocurran desastres.

Los desastres son la materialización del riesgo que se construye socialmente. Decir que “*los desastres son naturales*” es algo erróneo. Para que haya un desastre no sólo es necesario que se presente el desbordamiento de un río, un deslizamiento de tierra o un terremoto, sino también que existan construcciones que se puedan inundar, tapiar o que no cumplan con exigencias sismorresistentes. En otras palabras, un desastre se presenta no solamente cuando un evento natural ocurre sino cuando asentamientos humanos u otros bienes de la sociedad están expuestos a dichos eventos peligrosos y cuando, además, presentan niveles de vulnerabilidad adversos. Dicha vulnerabilidad es el resultado de actividades humanas y por esta razón los desastres son más fenómenos sociales que sucesos naturales.

La construcción de vivienda popular en Venezuela, en su mayoría, se realiza por autogestión o de manera informal: sin proyecto; sin asistencia técnica; de forma progresiva y, en particular, sin las consideraciones sismorresistentes y geotécnicas necesarias para que dichas viviendas sean seguras ante la ocurrencia de eventos naturales. Esto ocurre, principalmente, debido a los escasos conocimientos que de la materia tienen los constructores de vivienda popular y por la falta de herramientas que brinden a dichos constructores informales orientaciones prácticas, sistematizadas y validadas por los entes rectores en las distintas temáticas.

Basado en lo anterior y teniendo en cuenta: 1) que una de las cinco prioridades del Marco de Acción de Hyogo de las Naciones Unidas, hace referencia a la utilización del conocimiento, la innovación y la educación para crear una cultura de seguridad y resiliencia ante el riesgo de desastres a todo nivel; 2) que una de las directrices del Proyecto Nacional Simón Bolívar 2007-2013 hace referencia a la Suprema Felicidad Social, específicamente en el propósito de garantizar el acceso a una vivienda digna, fomentando y apoyando la participación y el compromiso para la construcción de la vivienda, donde la puesta en marcha de la Gran Misión Vivienda Venezuela es una solución estructurada, y 3) que el Programa Nacional de Reducción del Riesgo Sísmico que está desarrollando la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) busca contribuir a mitigar el riesgo sísmico a que están expuestas las viviendas en Venezuela, se elaboró la presente colección *Vivienda segura ante amenazas naturales*.

Dicha colección ha sido desarrollada por un grupo de expertos en cada una de las áreas temáticas (Conceptualización del Riesgo de Desastres; Amenaza por Terremotos; Amenaza por Aludes Torrenciales e Inundaciones Fluviales; Amenaza por Inestabilidad del Terreno; Hábitat Urbano y Vivienda; Vivienda de Mampostería Confinada Sismorresistente e Instalaciones para Vivienda de Mampostería), bajo la coordinación de FUNVISIS, con el apoyo financiero del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACIT), del Ministerio del Poder Popular para la Ciencia, Tecnología e Innovación (MPPCTI), en el marco de la Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación (LOCTI).

Con esta colección se intenta contribuir a la construcción de una vivienda popular más segura en el país, suministrando a los constructores populares, a la comunidad organizada, a las medianas y pequeñas empresas de construcción y a la población en general, una herramienta orientadora, sencilla y didáctica para la selección del terreno y para la construcción de viviendas resistentes a los terremotos y a otros eventos como inundaciones y deslizamientos. Sin embargo, se tiene claro que el desarrollo y la entrega de esta colección no es suficiente para prevenir y mitigar el riesgo, susceptible de acarrear desastres. Todos debemos reconocer la gran responsabilidad que tenemos en la construcción social del riesgo, y, basados en el principio constitucional de la corresponsabilidad, declaramos que el problema de los desastres es de todas y todos. En consecuencia debemos trabajar coordinadamente para encontrar una solución a este problema. Leer y usar esta colección es un buen comienzo.

Víctor H. Cano P.

Presidente de FUNVISIS

Caracterización y acondicionamiento del terreno

Daniel Salcedo Rodríguez



Mision Vivienda Venezuela. Urbanizacion Ciudad Caribia. año 2012.

El inicio de la fase constructiva de un urbanismo incluye el movimiento de tierras para la vialidad y el parcelamiento donde se construirán las viviendas, para lo cual se requiere cumplir con las recomendaciones y especificaciones formuladas por un estudio geotécnico, conocido comúnmente como “estudio de suelos”. En tal sentido es importante que tanto los profesionales y técnicos no especialistas en geotecnia como el constructor popular tengan unos conocimientos mínimos

que les permitan entender el referido estudio y poner en práctica las recomendaciones allí contenidas. En este fascículo se presentan los alcances mínimos que debe tener un estudio geotécnico, los conceptos básicos relacionados con la clasificación y comportamiento de suelos y rocas, y los aspectos relacionados con el acondicionamiento de un terreno antes de la construcción de viviendas, incluyendo taludes de corte, construcción de rellenos y fundaciones.

1. Alcances de un estudio geotécnico.

Clasificación y comportamiento de suelos y rocas

Qué debe contener un estudio geotécnico

En términos generales un estudio geotécnico integral, debidamente realizado para el caso de un urbanismo, debería contener en forma resumida los siguientes aspectos:

- a) Estudio de fotografías aéreas de diferentes épocas, para interpretar entre varios aspectos, zonas afectadas por erosión y deslizamientos, y zonas de suelos blandos.
- b) Estudio geológico detallado de superficie para identificar tipos de suelos y rocas y obtener datos de características de las discontinuidades en la masa rocosa, elaboración de planos.
- c) Exploración del subsuelo mediante perforaciones a máquina.
- d) Ensayos de laboratorio para cuantificar las propiedades básicas de suelos y rocas, así como su resistencia y compresibilidad.
- e) Elaboración de informe con la descripción del subsuelo y las recomendaciones específicas acerca de taludes de cortes, rellenos, y fundaciones para las estructuras. Igualmente debe contener recomendaciones y proyectos de las obras de contención requeridas (figura 1).

Se considera que el término “estudio geotécnico” es más apropiado que el de “estudio de suelos” porque el mismo no se debe concretar a la descripción local del suelo y a recomendaciones generales para las fundaciones de las viviendas, sino que debe abarcar en forma detallada otros aspectos de suma importancia.

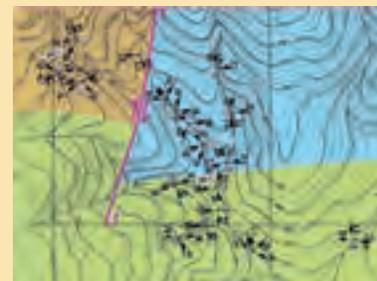
Figura 1
Aspectos a tomar en consideración para un estudio geotécnico integral



Interpretación de fotos aéreas



Geología de superficie



Plano litológico-estructural



Plano de procesos geodinámicos



Perforaciones



Ensayos de laboratorio

Cómo se clasifican los suelos

Con el fin de realizar una predicción general del posible comportamiento del terreno donde se va a construir una vivienda, o donde es necesario realizar un corte o colocar un relleno, es necesario tener conocimientos acerca de su clasificación desde el punto de vista de su granulometría y plasticidad, de su origen y de su respuesta cuando son sometidos a cargas. La granulometría se refiere a la distribución del tamaño de partículas que forman un suelo, y la plasticidad se puede definir en forma muy general como la propiedad que presenta un suelo de deformarse hasta cierto límite sin romperse o agrietarse. Los suelos plásticos cambian su consistencia al variar su contenido de agua, por lo

tanto se han normalizado ensayos de laboratorio para determinar sus estados de consistencia en función del cambio de humedad.

Clasificación de suelos según sus características granulométricas y de plasticidad

La granulometría o distribución del tamaño de partículas en un suelo o diámetro promedio del grano de suelos arenosos y gravosos se obtiene al pasar un peso conocido del suelo a través de un conjunto de tamices colocados con aberturas progresivamente menores en orden descendente y determinando el peso retenido en cada tamiz (figura 2).

De acuerdo al tamaño de granos, la terminología más común utilizada en campo, se muestra en el cuadro 1.

La clasificación de suelos más utilizada en la práctica de la ingeniería geotécnica es la Clasificación Unificada de Suelos (USCS por su siglas en Inglés). Para clasificar un suelo se necesita conocer como mínimo sus características granulométricas, y sus características de plasticidad obtenidas mediante otros ensayos no incluidos en la presente Guía, y que pueden ser consultados en textos de mecánica de suelos y geotecnia.

Figura 2
Equipo con tamices para ensayos de granulometría y detalle de apertura de tamices # 4, # 40 y # 200



Cuadro 1
Clasificación de tamaños de partículas (ASTM D-2487)

Tamaño del tamiz		Diámetro de partícula		Clasificación del suelo
Pasante	Retenido	Pulgadas	Milímetros	
	12"	> 12	> 350	Canto rodado (boulder)
12"	3"	3 – 12	75,0 – 350	Fragmento de roca (cobble)
3"	¾"	0,75 – 3	19,0 – 75,0	Grava gruesa
¾"	# 4	0,19 – 0,75	4,75 – 19,0	Grava fina
# 4	# 10	0,079 – 0,19	2,00 – 4,75	Arena gruesa
# 10	# 40	0,016 – 0,079	0,425 – 2,00	Arena media
# 40	# 200	0,0029 – 0,016	0,075 – 0,425	Arena fina
# 200		< 0,0029	< 0,075	Finos (limo + arcilla)

Clasificación de los suelos según su origen

Conocer el origen de un determinado suelo es muy importante para realizar una predicción estimada de su posible comportamiento. Dos suelos pueden tener la misma granulometría, sin embargo, de acuerdo a su origen el comportamiento será diferente. Según su origen, los suelos pueden ser clasificados en residuales, aluviales, coluviales, lacustres, glaciáricos, eólicos (transportados por el viento) y volcánicos. Los tres primeros son los más frecuentes en nuestro país.

Residuales: producto de la meteorización *in situ* de rocas pre-existentes. Por meteorización se entiende el proceso mediante el cual los agentes atmosféricos (agua, aire, lluvia, cambios de temperatura, etc.), atacan la superficie de las rocas disgregándolas y descomponiéndolas. A diferencia de los otros tipos de suelos, los residuales no son transportados y se ubican por encima de la masa rocosa *in situ* de la cual se originaron (figura 3).

Aluviales: suelos arrastrados y depositados por ríos y quebradas. Se caracterizan por poseer fragmentos subredondeados a redondeados (figuras 4 y 5).

Los suelos gravosos y arenosos compactos, en general constituyen buenos terrenos para fundación de viviendas y solo es necesario verificar la existencia de suelos sueltos o blandos por debajo de ellos, mediante el estudio geotécnico previo.

En general los suelos residuales tienen aceptable capacidad de soporte para fundaciones de viviendas y en la mayoría de los casos mejoran sus características con la profundidad.

Figura 3
Suelos residuales en la parte superior de la foto, formados por meteorización *in situ* de la roca infrayacente



Figura 4
Típico depósito de origen aluvial constituido por fragmentos sub-redondeados a redondeados en matriz gravo-arenosa



Figura 5
Grandes bloques de gneises subredondeados, transportados durante flujos torrenciales



Coluviales suelos originados por el desprendimiento y caída de sedimentos de una ladera por efecto de gravedad. Sus granos tienen forma subangular a angular. Debido a su acumulación al pie de laderas, también se conocen como sedimentos de piedemonte.

Tienen generalmente densidades bajas y por su mismo origen presentan graves problemas de estabilidad cuando son cortados; por lo tanto, es de extrema importancia su identificación antes de proceder con los taludes de corte (figuras 6 y 7).

Figura 6
Suelos coluviales propensos a procesos de inestabilidad



a) Nótese cambio de pendiente por acumulación de coluvios al pie de la ladera.



b) Detalles de fragmentos angulares de roca embebidos en matriz arenosa.

Figura 7
Suelos coluviales propensos a procesos de inestabilidad



a) Otro detalle de fragmentos angulares de roca embebidas en matriz arenosa.



b) Deslizamiento de talud de corte en suelo coluvial.

Suelos que pueden generar problemas en urbanismos

Según su comportamiento, los suelos que con más frecuencia generan problemas de capacidad de soporte, asentamientos, o de estabilidad general, pueden ser clasificados en forma simplificada, en “normalmente consolidados”, “subconsolidados”, “expansivos”, “dispersivos”, “colapsibles”, “licuables” y “orgánicos”.

Suelos normalmente consolidados: en estos suelos la presión derivada del peso de los sedimentos a cualquier profundidad, conocida como presión geostática, es la misma que ha privado desde su origen. En otras palabras, la presión bajo la cual se consolidaron estos suelos, es la misma que tiene actualmente. Se identifican como suelos blandos y cualquier sobrecarga adicional como por ejemplo la generada por la fundación de una vivienda, causaría compresibilidad del mismo y como consecuencia asentamientos y daños en la estructura.

Suelos sub-consolidados: se definen así aquellos suelos que todavía están en etapa de consolidación bajo la presión de los sedimentos superiores. Estos suelos presentan mayores problemas de asentamientos que un suelo normalmente consolidado.

Suelos expansivos: se trata de suelos arcillosos que generan presiones de expansión al absorber agua. Las presiones de expansión son en general muy superiores a la sobrecarga de un pavimento de vialidad o vivienda por lo cual lo levantan, lo deforman y agrietan. En muchos casos la presión de expansión es superior a la carga transmitida por la fundación directa de una vivienda, generando severos daños en la estructura. El estudio geotécnico previo debe identificar este tipo de suelos y definir la magnitud de las presiones de

expansión e igualmente debe formular, en función de los espesores detectados durante la exploración del subsuelo, las recomendaciones para tratar de mitigar los efectos perjudiciales de este tipo de suelos.

Suelos dispersivos: Se denominan así algunas arcillas altamente erosionables por dispersión o defloculación. En el campo se pueden identificar por la presencia de oquedades, túneles y cárcavas de erosión (figura 8).

El potencial dispersivo de un suelo debe ser cuantificado en el estudio geotécnico previo mediante ensayos de laboratorio propuestos para tal fin. El problema principal de este tipo de suelos como terreno de fundación, es el posible colapso de las oquedades como consecuencia de la carga que transmitirán las fundaciones de la vivienda. En tal sentido, es preferible evitar fundar estructuras en este tipo de suelos.

Figura 8
Suelos susceptibles a la erosión con indicios de potencial dispersivo. Nótese las oquedades indicativas de procesos de erosión interna



Suelos colapsibles: en su estado natural estos suelos se caracterizan por tener una alta relación de vacíos y un contenido de humedad muy bajo. Generalmente son de origen aluvial o eólico y tienen una estructura muy porosa que se mantiene por enlaces entre partículas que son muy solubles con agua. La infiltración de agua en estos suelos rompe los enlaces y origina el colapso de la estructura, causando graves problemas en obras civiles construidas sobre ellos. Al igual que para el caso de suelos dispersivos, se debe evitar la construcción de viviendas en este tipo de suelos.

Suelos licuables: se trata de suelos que pierden el contacto grano a grano y se licúan como resultado de un movimiento sísmico. Generalmente los suelos potencialmente licuables son arenas de baja densidad bajo el nivel freático (nivel de agua subterránea). La carga dinámica derivada de un sismo es mucho más rápida que la tasa a la cual el agua puede drenar de los poros y, por lo tanto,

genera momentáneamente altas presiones de agua positivas en dichos poros que pueden vencer la fuerza que une las partículas sólidas del suelo. Cuando esto ocurre el suelo pierde su resistencia al corte y se comporta como un líquido denso, manifestándose en superficie en forma de volcanes de arena (figuras 9 y 10). Este fenómeno se conoce como **licuefacción** o **licuación**.

Figura 9
Volcanes de arena generados por licuación durante el sismo que afectó Tocuayo de la Costa, el 12 de septiembre de 2009



(Fotografías: Víctor Cano, Funvisis).

Figura 10
Ejemplo de colapso de edificios por licuación del suelo durante el Terremoto de Nigata, Japón, 1964



<http://earthquake.usgs.gov/>

Suelos orgánicos: en ingeniería geotécnica un suelo se considera orgánico cuando contiene una cantidad significativa de materia orgánica reciente derivada de plantas o animales. Debe ser lo suficientemente fresco para estar todavía en proceso de descomposición, conservando su textura, color y olor característico. La identificación de este tipo de suelos es muy importante debido a que son más débiles y más compresibles que los suelos inorgánicos, teniendo poca capacidad de soporte para proyectos de obras civiles. El ejemplo más típico de un suelo orgánico es la “turba”, un suelo altamente orgánico que se genera principalmente de plantas conservando fibras de ellas. Se caracteriza por colores marrón oscuro a negro, consistencia esponjosa y olor orgánico. Se encuentran en zonas pantanosas y producen problemas graves de asentamientos a mediano y largo plazo.

Un caso de suelo particularmente problemático es el encontrado en los alrededores del Lago de Valencia, que ha sido denominado informalmente como “caracolillo”. Se trata de estratos de limos, arcillas y arenas con abundantes conchas de caracoles (*Planorbis*). Este tipo de suelos diatomáceos se caracterizan por producir escozor al contacto con la piel, transmiten con facilidad las vibraciones, tienen muy baja capacidad de soporte, y han sido responsables de daños en viviendas por procesos de asentamientos y colapsos.

Las diatomeas son algas unicelulares que crecen tanto en ambientes marinos como en agua dulce.

Cuando mueren las diatomeas que se forman en lagos, todo el contenido orgánico se disuelve y se destruye, con excepción del esqueleto el cual va a depositarse en el fondo del lago. Si las diatomeas se sedimentan en conjunto con las partículas de suelo, se forman los denominados suelos diatomáceos.

Clasificación de las rocas según su origen

La característica principal de las rocas sedimentarias es la estratificación que se puede definir como una superficie generalmente continua que separa rocas de diferente tipo o rocas del mismo tipo pero de diferentes periodos de sedimentación. Ejemplos de rocas sedimentarias son las areniscas, lutitas y calizas. La mayoría de las rocas metamórficas originadas por altas presiones y temperaturas, se distinguen por la *foliación* o *esquistosidad* la cual se desarrolla debido a la orientación de los minerales planares, tubulares y hojosos como consecuencia del metamorfismo. Típicos ejemplos de rocas metamórficas son los esquistos, filitas, metareniscas, gneises y mármoles.

Las rocas ígneas pueden ser de origen intrusivo o volcánico y no tienen estratificación o foliación. Las discontinuidades presentes en estas rocas, son fracturas denominadas diaclasas, las cuales pueden presentarse en todos los grupos de rocas. Ejemplos de rocas ígneas son el granito, la diorita y el basalto.

Las rocas están formadas generalmente por varios minerales, aunque también pueden ser monominerálicas. Según su origen se pueden clasificar en tres grandes grupos: ígneas, sedimentarias y metamórficas. Las características de estos tres grupos de rocas se pueden consultar en textos de Geología y Geología Aplicada.

Comportamiento de las masas rocosas como terreno de fundación de viviendas y según su estabilidad

Desde el punto de vista de su capacidad de soporte, la mayoría de las rocas tienen suficiente resistencia para aceptar las cargas que transmitirían viviendas de hasta dos plantas como las consideradas en esta publicación. Por supuesto que su resistencia es función de su grado de meteorización, dureza y fracturamiento, y de su comportamiento bajo procesos de humedecimiento y secado. La magnitud de su capacidad de carga admisible, debe ser definida en el estudio geotécnico previo.

Desde el punto de vista de su estabilidad, aún una roca muy dura puede tener problemas de deslizamientos debido a la orientación desfavorable de sus planos de discontinuidad.

El concepto de rumbo y buzamiento

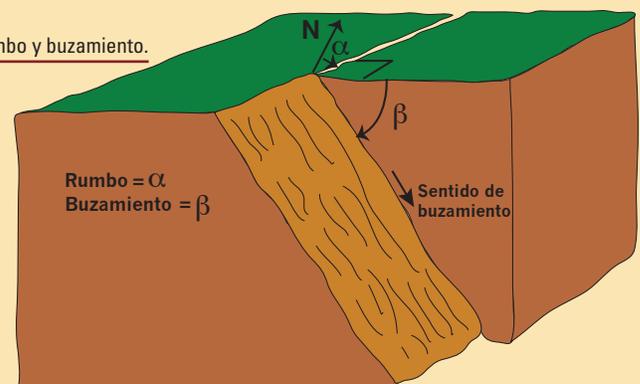
La orientación de una discontinuidad en una masa rocosa se determina mediante el uso de una brújula con clinómetro, definiendo el *buzamiento* (ángulo que forma la recta de máxima pendiente del plano de la discontinuidad con respecto a su proyección en un plano horizontal) y la *dirección de buzamiento* medida desde el Norte en el sentido de las agujas del reloj.

En Venezuela es más corriente en los estudios geológicos el uso de los términos rumbo y buzamiento. El *rumbo* es el ángulo que forma la recta de intersección de una discontinuidad con un plano horizontal, respecto a la Norte-Sur. La figura 11 permite visualizar el concepto de rumbo y buzamiento en un plano de estratificación. La figura 12 muestra un esquema del concepto de rumbo y buzamiento.

Figura 11
Fotos que ilustran el concepto y medición de rumbo y buzamiento



Figura 12
Esquema del concepto de rumbo y buzamiento.



Significado de las discontinuidades e importancia en su comportamiento

El conjunto formado por la roca intacta y por discontinuidades se denomina “masa rocosa”. Las discontinuidades típicas de una masa rocosa (figuras 13 a 16) son la estratificación, la foliación o esquistosidad, las diaclasas y las fallas geológicas.

Estratificación, estructura típica de rocas sedimentarias, previamente definida.

Foliación o esquistosidad característica de rocas metamórficas, previamente definida.

Diaclasas: son fracturas de origen tectónico sin desplazamiento lateral, las cuales pueden presentarse tanto en rocas sedimentarias como en metamórficas e ígneas. Pueden tener desplazamiento en sentido perpendicular al plano de fractura.

Fallas geológicas. Son fracturas de origen tectónico con desplazamiento lateral. Aunque no son tan frecuentes en las masas rocosas, se consideran también discontinuidades.

El estudio geológico-geotécnico previo al urbanismo, debe caracterizar las propiedades de las discontinuidades entre las que se pueden mencionar: orientación, espaciamiento, persistencia, forma, rugosidad, abertura, relleno, y resistencia al corte.

La orientación de las discontinuidades en una masa rocosa es una de las características más importantes ya que permite predecir y analizar posibles modos de deslizamiento.

Figura 13
Ejemplos de planos de estratificación con orientación constante y plegados



Figura 14
Vista general y detalle de ejemplos de superficies de foliación



Figura 15
Vista general y detalle de ejemplos de diaclasas



Figura 16
Ejemplos de fallas geológicas

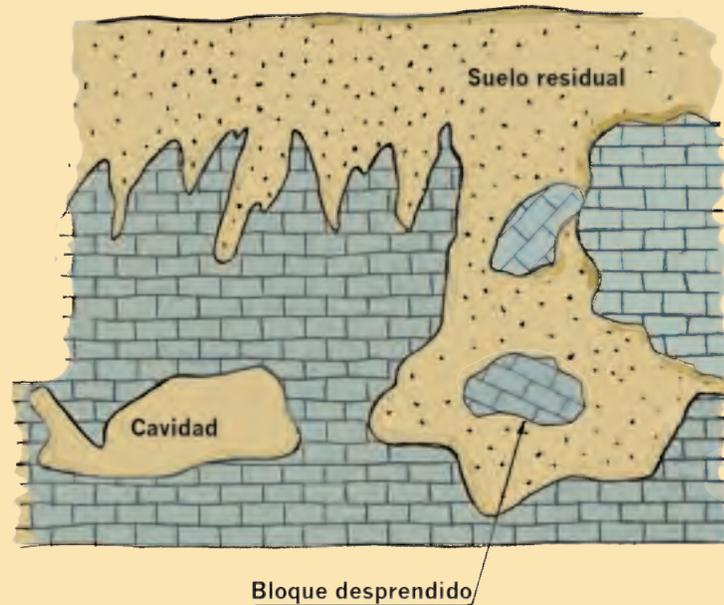


Problemas que pueden generar ciertos tipos de rocas

Los problemas más típicos que generan algunas rocas, se pueden resumir como sigue:

- Rocas solubles carbonáticas y salinas, tales como calizas, dolomias, mármoles y rocas yesíferas, generan cavernas y oquedades que permiten flujo de agua y pueden colapsar (figura 17).

Figura 17
Perfil típico de calizas



- Rocas altamente afectadas por pliegues y fallas geológicas, denominadas tectonizadas, cizalladas y muy fracturadas, pueden generar problemas de estabilidad de laderas debido a la presencia de plegamientos y discontinuidades con muy baja resistencia en sus planos (figura 18).

Figura 18
Fotos antes y después del deslizamiento de una zona de rocas intensamente plegadas y cizalladas.



- Esquistos cloríticos y grafitosos, y filitas sericíticas. Son rocas más susceptibles a deslizamientos si la foliación se orienta en el mismo sentido de la pendiente de una ladera y con un ángulo de buzamiento menor que dicha pendiente (figura 19).
- Areniscas pobremente cementadas que son altamente friables y se disgregan fácilmente en presencia de agua (figura 20).
- Lutitas duras con aparente resistencia inicial aceptable pero susceptibles a disgregarse por ciclos de humedecimiento y secado.

Figura 19
Filitas untuosas de baja resistencia interfoliadas con rocas más duras



Figura 20
Carcava de erosión en areniscas finas pobremente cementadas

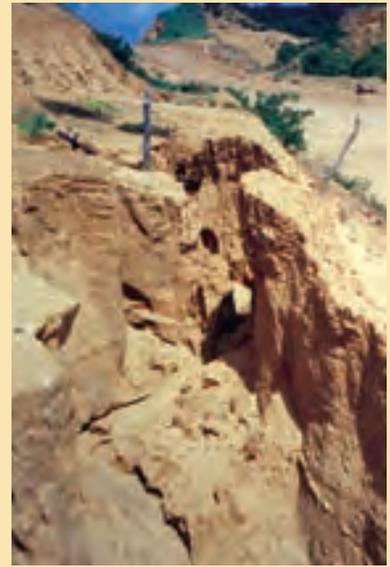


Figura 21
Lutitas susceptibles a disgregarse por procesos de humedecimiento y secado



- Lutitas de muy baja resistencia, interestratificadas con rocas más competentes, las cuales controlan la ocurrencia de deslizamientos cuando su buzamiento es consecuente con el frente de exposición del talud o ladera (figura 22).

Figura 22
Deslizamiento de capas de arenisca sobre capa de lutita



2. Taludes de corte

Posibles efectos de un corte en una ladera

Cualquier corte o banqueo en una ladera representa una modificación en su pendiente natural, generalmente aumentando la misma. En tal sentido, la estabilidad futura del talud de corte y su zona de influencia, dependerá, en primer lugar, de las condiciones naturales de estabilidad de la ladera. Por lo tanto, antes de ejecutar un corte y definir su pendiente, la práctica ingenieril óptima requeriría realizar las siguientes actividades, las cuales deben estar contenidas en el estudio geotécnico previo:

1. Análisis de fotografías aéreas de la zona con el fin de determinar el origen de los suelos y rocas, e identificar procesos geodinámicos tales como deslizamientos, flujos, erosión, etc.
2. Recorridos de campo para detectar indicios de movimiento, grietas de tracción, zonas de infiltración de agua, manantiales, etc.
3. En función de las observaciones de campo puede ser necesario consultar al ingeniero responsable del estudio geotécnico previo, con el fin de evaluar si se requieren exploraciones adicionales.
4. Si en la ladera a ser cortada, no existen indicios de problemas de deslizamientos previos, se podrá proceder a cortarlo con la pendiente especificada en el estudio geotécnico.

Clasificación de los deslizamientos

En forma muy simplificada los movimientos en masa, englobados comúnmente dentro del término “deslizamientos”, se pueden clasificar en caídas, volcamientos, deslizamientos, flujos y propagaciones laterales (Véase figura 23, en p. 20).

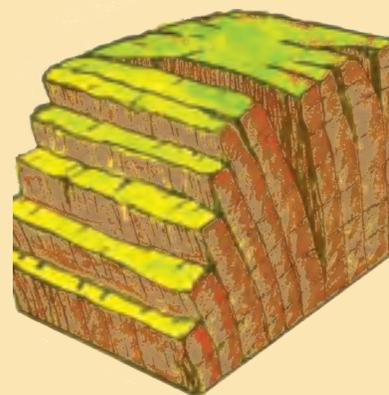
Caída

Una caída se inicia con el desprendimiento de una masa de suelo o de roca en una pendiente abrupta, que luego desciende principalmente por aire, saltando y rodando.



Volcamiento

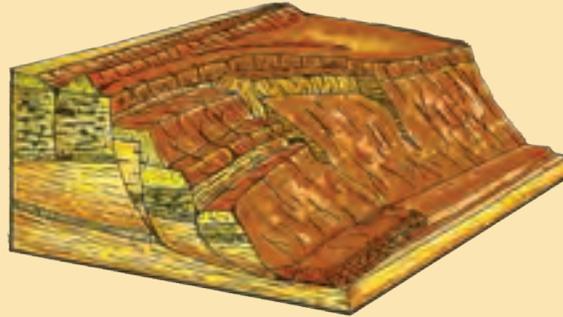
Un volcamiento consiste en una rotación hacia delante en el sentido de la pendiente del talud, de una masa de suelo o roca alrededor de un punto o eje bajo el centro de gravedad de la masa desplazada.



La estabilidad futura del talud de corte y su zona de influencia dependerá, en primer lugar, de las condiciones naturales de estabilidad de la ladera.

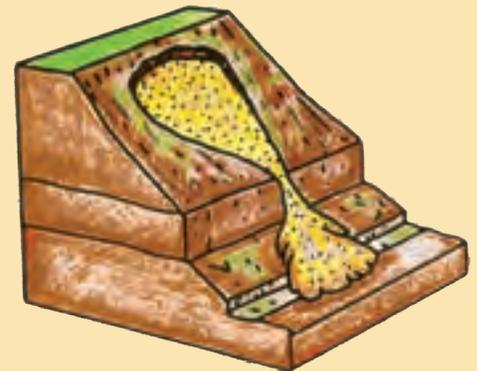
Deslizamiento

Un deslizamiento propiamente dicho, es el movimiento de una masa de suelo o roca que ocurre predominantemente en superficies de ruptura o zonas relativamente delgadas de intensa deformación de corte. Los deslizamientos pueden ser *rotacionales* los cuales se mueven según superficies de cizallamiento curvas y cóncavas hacia arriba, *traslacionales* los cuales se mueven a lo largo de superficies planas y su relación espesor-longitud es usualmente menor de 0,1 y *compuestos* los cuales tienen formas intermedias entre rotacionales y traslacionales.



Flujo

Un flujo es un movimiento continuo espacialmente en el cual las superficies de corte tienen poca vida, se desarrollan muy cerca una de otras y generalmente no se conservan. La distribución de velocidades de la masa desplazada se asemeja a un fluido viscoso.



Propagación lateral

Una propagación lateral (*lateral spreading*) es una extensión de un suelo cohesivo o masa rocosa combinado con una subsidencia general dentro de un material inferior más blando. Este tipo de movimiento puede ocurrir por licuefacción. Son similares a los deslizamientos traslacionales, excepto que los bloques se separan y se apartan entre ellos.

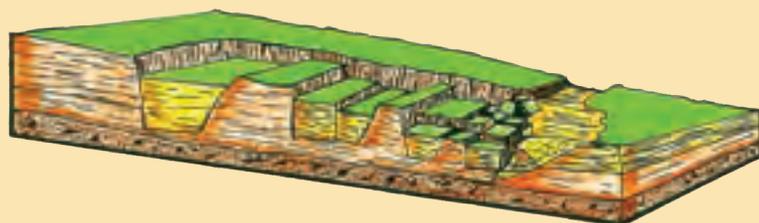


Figura 23
Ejemplos gráficos de tipos de deslizamiento

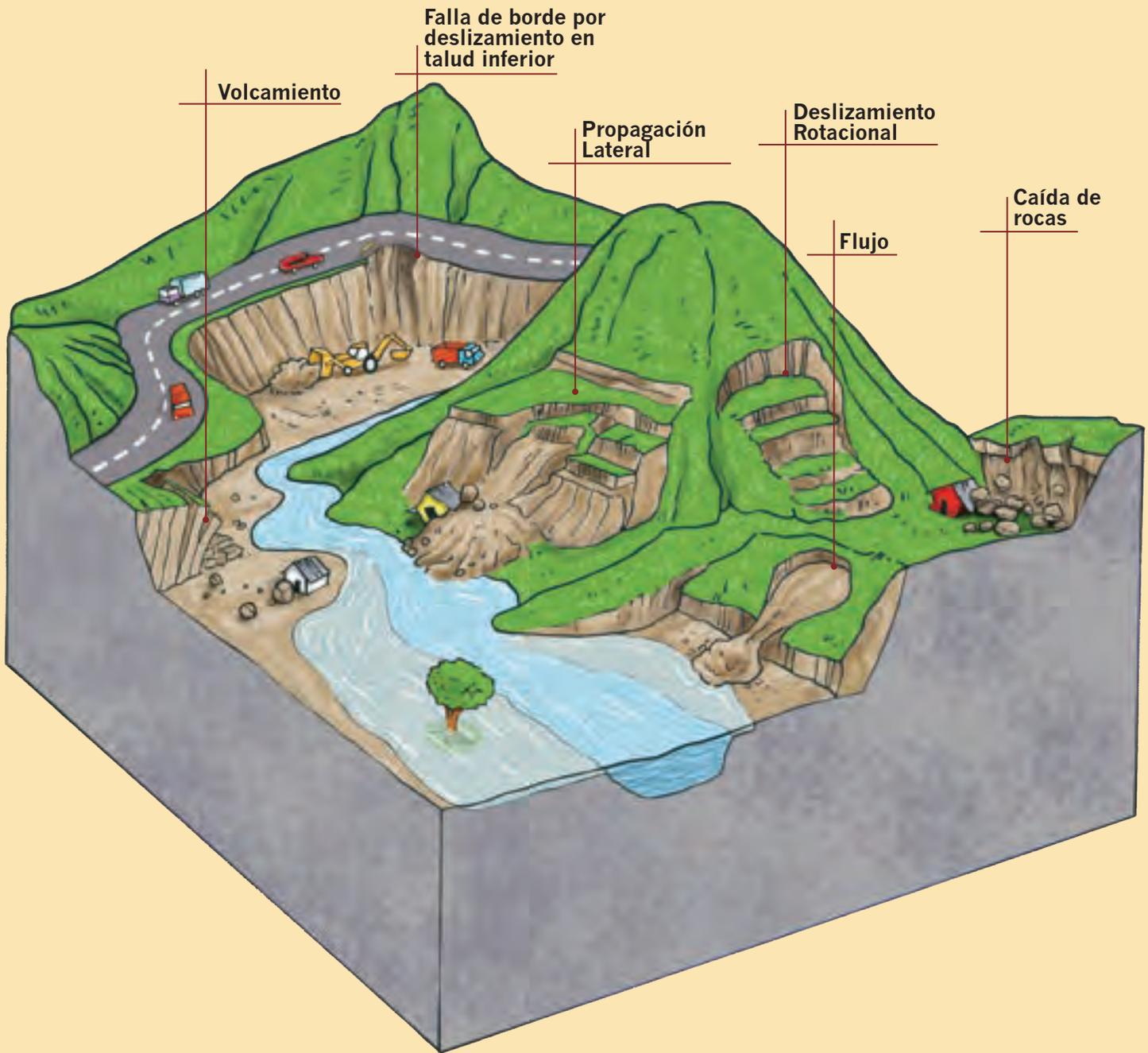
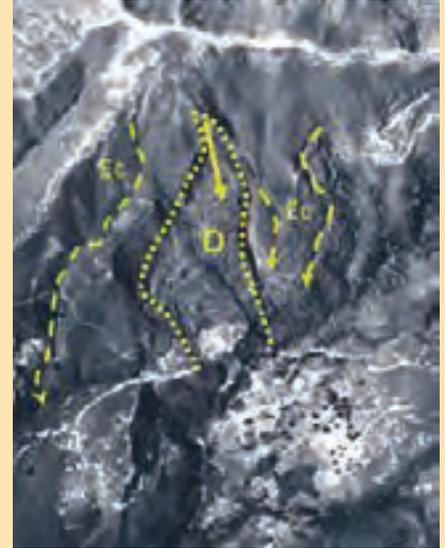
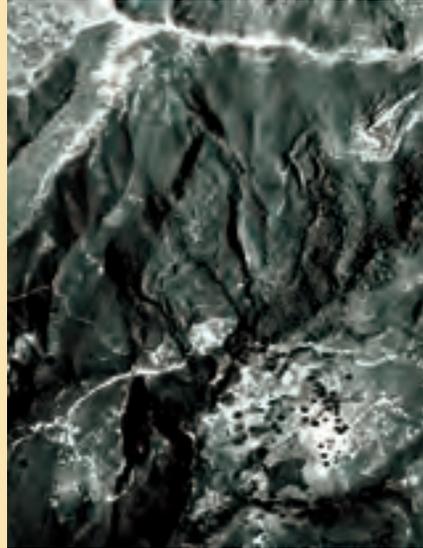


Ilustración: Douglas Muñoz

Identificación de deslizamientos en una zona

Por sus formas características, los deslizamientos pueden ser identificados mediante el estudio de fotografías aéreas de diferentes épocas y mediante observaciones a distancia complementadas con observaciones detalladas de campo (figura 24).

Figura 24
Fotografías de deslizamientos



Fotografías aéreas de una zona, antes y después del urbanismo, donde se ha interpretado un deslizamiento profundo (D) y ejemplos de erosión concentrada en surcos (E). Nótese en la foto inferior, la construcción de vías y viviendas sobre el deslizamiento antiguo, el cual al reactivarse originó daños significativos en el urbanismo.



Foto original e interpretada de ladera afectada por dos deslizamientos de diferentes dimensiones.



Ejemplo de evidencias de deslizamiento antiguo en una ladera natural. Nótese en la foto de la derecha, la interpretación de la escarpa y el material deslizado limitado por líneas segmentadas.

Fallas más comunes de los taludes de corte en suelos

Deslizamientos rotacionales

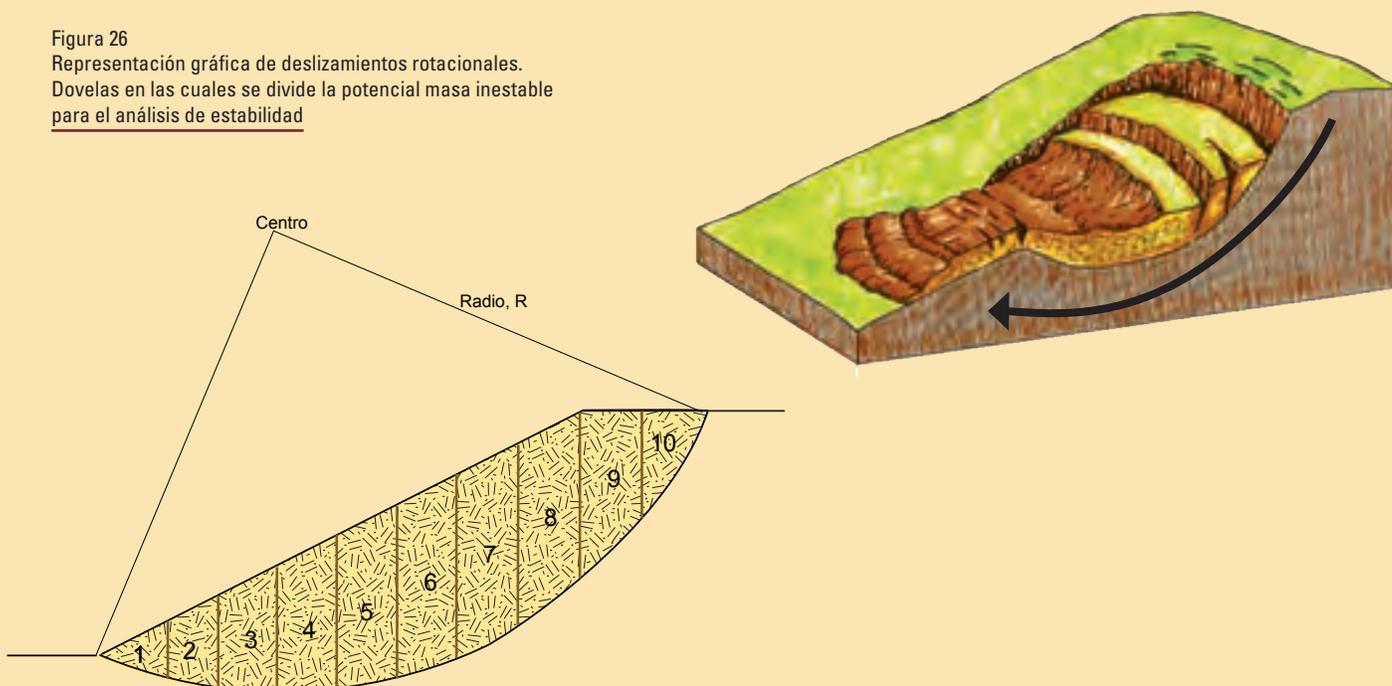
Un suelo puede deslizarse mediante mecanismos rotacionales o mediante movimientos predominantemente traslacionales. La superficie potencial de un deslizamiento rotacional en un suelo (coluvial, residual, aluvial, etc.) puede ser aproximada, para fines prácticos, a un arco circular (figuras 25 y 26).

Un suelo puede deslizarse mediante mecanismos rotacionales o mediante movimientos predominantemente traslacionales.

Figura 25
Deslizamientos rotacionales



Figura 26
Representación gráfica de deslizamientos rotacionales. Dovelas en las cuales se divide la potencial masa inestable para el análisis de estabilidad



Deslizamientos traslacionales

Algunos deslizamientos tienen un mecanismo representado por movimientos esencialmente traslacionales (figura 27). El ejemplo más representativo de este tipo de deslizamiento ocurre en laderas constituidas por suelos residuales, donde una capa delgada de suelo descansa en contacto sobre un suelo más resistente o sobre roca. En este caso el mecanismo de deslizamiento está controlado por dicho contacto que es normalmente un plano paralelo a la pendiente del talud. Otro ejemplo de este tipo de deslizamiento es el que ocurre en laderas constituidas por suelos granulares sin cohesión, donde el mecanismo de rotura es caracterizado por un deslizamiento muy superficial.

Cabe destacar que el origen de los suelos representa un factor importante para la estabilidad de los taludes. Por ejemplo, un suelo coluvial de una determinada granulometría, generado por la acumulación de sedimentos al pie de una ladera, es por su naturaleza mucho más susceptible a problemas de inestabilidad que un suelo con la misma granulometría pero de origen aluvional o residual. Por todas estas razones la definición de la pendiente estable para un corte en suelo, requiere del análisis de muchos factores desde el punto de vista geotécnico y de la experiencia y buen juicio ingenieril.

Figura 27
Ejemplos de deslizamientos traslacionales



Fotografías antes y después de zona afectada por deslizamientos traslacionales en forma de flujo.

Fallas más comunes de los taludes de corte en masas rocosas

Los mecanismos de rotura en una masa rocosa donde la roca intacta tiene una resistencia muy superior a la resistencia al corte en las discontinuidades, están controlados por la orientación de dichas discontinuidades. De acuerdo a la orientación de las discontinuidades en la masa rocosa se pueden diferenciar tres modos de deslizamiento, a saber: planar, cuneiformes y volcamiento (Hoek & Bray, 1981; Salcedo, 1978).

Deslizamientos planares

Este tipo de deslizamientos puede ocurrir cuando una de las discontinuidades de la roca tiene un buzamiento (ángulo de inclinación de la máxima pendiente) en el mismo sentido de la pendiente del talud y con un ángulo menor (figuras 28 y 29). Esta condición se conoce como “cinemáticamente inestable.” Para la ocurrencia del deslizamiento, el ángulo de buzamiento debe ser mayor o igual al ángulo de fricción en la discontinuidad si es 100% persistente, es decir totalmente continua. Esta condición se conoce como “mecánicamente inestable.”

Cuando las rocas se encuentran muy meteorizadas o descompuestas y/o muy fracturadas, el modo de deslizamiento es independiente de la orientación de las discontinuidades. En este caso, el mecanismo del deslizamiento se asemeja al ya mencionado modo rotacional para el caso de suelos.

Figura 28
Representación gráfica de un deslizamiento planar



Ilustración: Douglas Muñoz

Figura 29
Deslizamientos planares



Cuando la masa rocosa contiene diferentes tipos de roca, el plano de deslizamiento se produce a lo largo de la discontinuidad en la roca de menor resistencia al corte. Por ejemplo si se trata de una secuencia de areniscas y lutitas, o de cuarcitas y filitas, el plano se desarrolla dentro de las lutitas en el primer caso, y en las filitas en el segundo caso (figura 30).

Figura 30
Plano de deslizamiento a lo largo de una capa de lutita



Deslizamientos de cuña o cuneiformes

Cuando dos discontinuidades de la masa rocosa tienen una orientación tal que la recta de intersección de las mismas se inclina en el mismo sentido del talud y con una inclinación menor que la pendiente, se origina una condición denominada “cinemáticamente inestable” para un deslizamiento de cuña (figuras 31 y 32). Bajo condiciones drenadas (sin presiones de agua) si el peso de la cuña vence la resistencia al corte (fricción y cohesión) en ambas discontinuidades, el bloque de roca desliza hacia el espacio libre.

Tratándose de un deslizamiento donde intervienen dos planos, los análisis de estabilidad requieren preferiblemente análisis tri-dimensionales, los cuales deben formar parte del estudio geotécnico requerido para el urbanismo.

Figura 31
Representación gráfica de un deslizamiento cuneiforme o de cuña



Ilustración: Douglas Muñóz

Figura 32
Ejemplos de deslizamientos cuneiformes o de cuña



Deslizamientos por volcamiento

Este es un modo de movimiento en masa menos frecuente y generalmente ocurre cuando una discontinuidad bien desarrollada en una masa rocosa, tiene un rumbo subparalelo al talud, y se inclina en sentido contrario al mismo con un buzamiento alto ($>65^\circ$), o cuando una capa de roca dura queda sin sustentación por meteorización de capas más débiles subyacentes (figuras 33 y 34).

Figura 33
Esquemas de fallas por volcamiento (Goodman, 1976)



Figura 34
Ejemplos de falla por volcamiento



Inicio de una falla por volcamiento detrás de una vivienda.



Falla de volcamiento de capas de areniscas por meteorización de la capa de lutita subyacente.

Impactos que pueden generar los taludes de corte

No cabe duda que la ejecución de un talud de corte origina impactos importantes que deben ser identificados para proceder a aplicar los métodos correctivos correspondientes. Es conveniente enfatizar en la necesidad de evitar la práctica constructiva muy frecuente de realizar los banqueos en los taludes de corte y volcar el material sobre la ladera inferior la cual, en algunos casos constituye el margen de un río o quebrada (figura 35). Esta práctica, además de contribuir a la inestabilidad de la ladera natural y del propio material volcado, representa un impacto ambiental que debe ser evitado.

El derrame de material cortado sobre laderas destruye la capa vegetal y contamina los cauces, además de que altera el escurrimiento natural de las aguas y genera un impacto visual sobre el paisaje. En tal sentido, se debe prohibir volcar materiales sobre laderas naturales, y proceder a transportar los materiales provenientes de los cortes a sitios seleccionados para tal fin, con el acondicionamiento y tratamiento respectivo (figura 36).

La ejecución de un talud de corte origina impactos importantes que deben ser identificados para proceder a aplicar los métodos correctivos correspondientes.

Figura 35
El bote de material sobre una ladera genera problemas de estabilidad y ocasiona graves problemas ambientales



Cortes sin control pueden generar agrietamientos y hasta colapso de viviendas en la zona superior. El material volcado en la ladera inferior es inestable por sí mismo y contribuye a la inestabilidad de la ladera original.

Ilustración: Douglas Muñóz

La fase constructiva de taludes de corte, debe reducir al máximo las emisiones de polvo mediante el control de la velocidad de los equipos en la obra y mediante el riego periódico de los caminos de tránsito o pistas. Otro aspecto importante a considerar es el tiempo que debe transcurrir desde el momento que se realiza el corte hasta el momento de inicio de las labores de protección y revegetalización del mismo. Este tiempo debe minimizarse con el fin de evitar la erosión y el deterioro progresivo del talud cortado.

Para garantizar la estabilidad a mediano y largo plazo de los taludes, se requiere el diseño y construcción de un eficiente sistema de recolección de aguas de lluvia, constituido por cunetas de coronación, cunetas al pie de los taludes, y torrenteras.

La cunetas de coronación tienen como función interceptar las aguas de escorrentía en la parte alta de los taludes, y las torrenteras recogen las aguas y las conducen hacia abajo del talud y pueden incluir elementos para disipar la energía del flujo de agua.

Figura 36
El bote de material sobre una ladera genera problemas de estabilidad y ocasiona graves problemas ambientales



Ilustración: Douglas Muñoz

3. Rellenos

Necesidad de rellenos en algunos urbanismos y consideraciones generales a tomar en cuenta

El comportamiento y la estabilidad de un relleno están asociados tanto a las características del relleno mismo como a las condiciones del suelo de fundación. Las fallas originadas en el propio terraplén pueden ser causadas por el uso de materiales inadecuados, por métodos de construcción inapropiados o por procedimientos inefectivos de control de calidad.

Los rellenos de alturas importantes son estructuras de tierra que transmiten cargas significativas al terreno de fundación, lo cual debe ser analizado en el estudio geotécnico previo.

De acuerdo con lo expuesto, para obtener un diseño óptimo y construir en forma satisfactoria un relleno o terraplén, se requiere una investigación detallada de las condiciones del terreno sobre el cual va a ser fundada la estructura de tierra.

La deforestación y limpieza del terreno constituyen los primeros pasos en la preparación de un sitio de relleno.

Importancia de las características del suelo donde se va a colocar el relleno

La colocación de rellenos sobre suelos de fundación blandos o sobre capas vegetales puede generar problemas de asentamientos, desplazamiento del subsuelo o incluso fallas del mismo terraplén (figuras 37 y 38).

El diseño geométrico y algunas consideraciones relacionadas con la vialidad y la definición de las áreas donde se van a construir viviendas, requieren frecuentemente zonas proyectadas a una cota mayor que la superficie del terreno existente, siendo necesario la construcción de rellenos o terraplenes.

Figura 37
Falla de terraplén. Suelo blando bajo una capa de suelo resistente

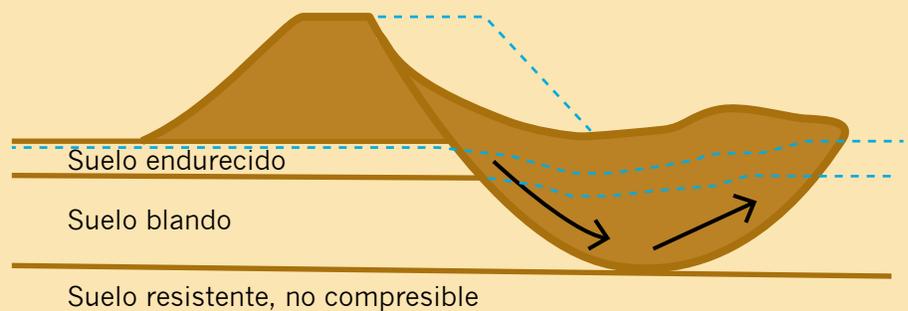
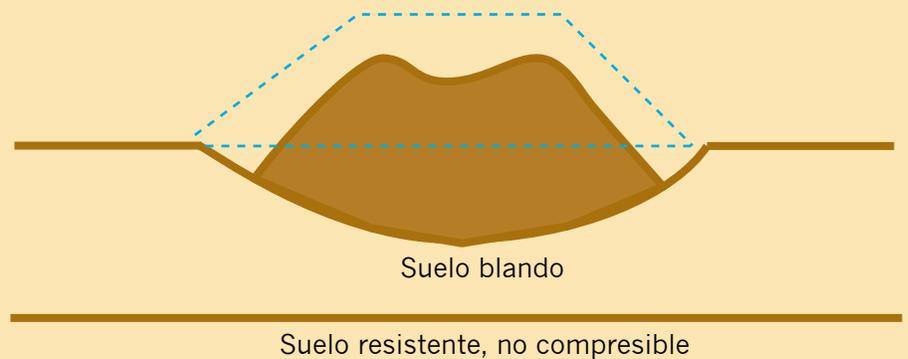


Figura 38
Asentamiento de un terraplén construido sobre un suelo blando



Los suelos de fundación blandos incluyen variedades de turbas, limos y arcillas orgánicas e inorgánicas. Estos depósitos pueden ser localizados, por ejemplo, en áreas pantanosas o en cruces de ríos, o pueden abarcar grandes áreas tales como fangales y ciénagas de marea. El material compresible puede encontrarse en la superficie, o puede estar enterrado bajo un manto de suelo duro. Ejemplos de este último caso son los canales abandonados de ríos, sedimentos lacustres y pantanos, que pueden haber sido cubiertos por una corteza desecada o depósitos de suelos más recientes. En el caso de dejar la capa vegetal enterrada, ésta –además de descomponerse con el tiempo– constituye un plano preferencial para la ocurrencia de deslizamientos .

Qué hacer si se encuentran suelos blandos donde se van a construir rellenos

Dependiendo de sus características y espesores, los suelos blandos pueden ser removidos, secados hasta una humedad determinada mediante ensayos de laboratorio y recompactados, o desechados y reemplazados por un material aceptable. Si los espesores de suelos blandos son menores de 4 metros, la solución más económica es removerlo y sustituirlo por un material adecuado debidamente compactado (figura 39). Si los espesores son muy grandes, se requiere una investigación detallada del subsuelo para determinar sus características de compresibilidad y soporte.

Cuando se trata de construir terraplenes sobre suelos blandos, se requiere la consulta a un especialista en geotecnia.

Entre los métodos más comunes para resolver el problema de suelos blandos en el terreno de fundación, se pueden citar la remoción, la consolidación con o sin pre-carga, el uso de drenes de arena, y la utilización de geosintéticos (ver figura 40).

Otros métodos no tratados en esta publicación incluyen la consolidación dinámica, vibroflotación, columnas inyectadas a presión (*jet grouting*), columnas de suelo-cemento, columnas de suelo-cal, columnas de piedra, columnas de concreto vibrado, e inyecciones de cemento. El procedimiento para el tratamiento de zonas con suelos blandos, debe ser definido en el estudio geotécnico previo al urbanismo.

Figura 39
Esquemas de excavación y sustitución de material inapropiado, antes de la construcción de un terraplén (Modificado de HRB, 1971)

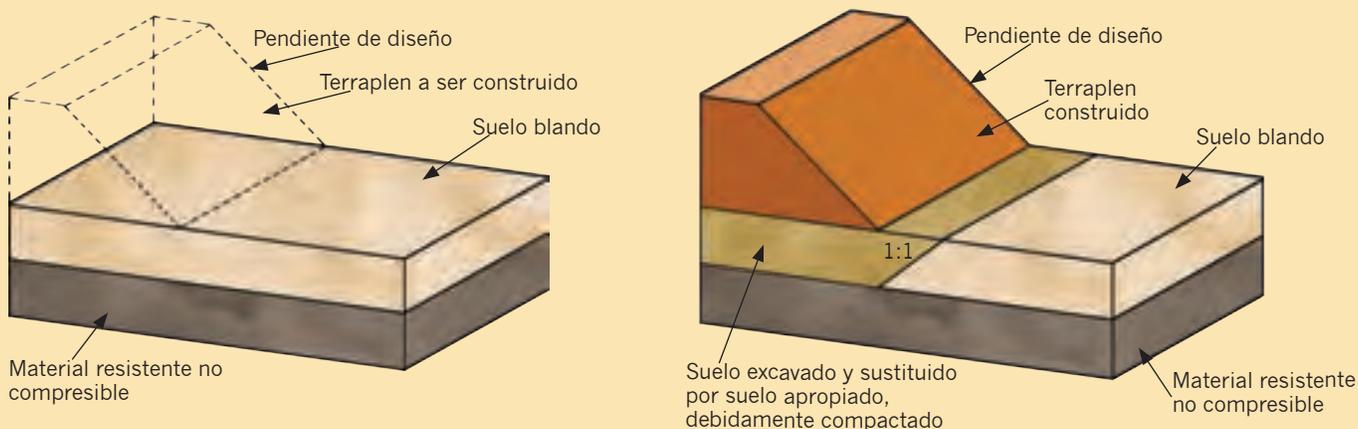


Figura 40
Ejemplos de utilización de geosintéticos para construcción de terraplén en un suelo blando



Existen muchos casos publicados donde se han utilizado geosintéticos para la construcción de vías sobre suelos blandos. Si bien han dado excelentes resultados para facilitar las actividades constructivas iniciales y trabajan como muy buenos separadores, impidiendo la incrustación del suelo de relleno en el material blando, hay que recordar que su colocación no elimina los asentamientos totales por consolidación. La experiencia en obras sugiere, sin embargo, que los asentamientos diferenciales aparentan ser menores con el uso de geosintéticos que cuando no se utilizan (ver figura 40, en p. 30).

Con base en lo expuesto se puede concluir que cuando se trata de construir terraplenes sobre suelos blandos, se requiere la consulta a un especialista en geotecnia.

Problemas que puede generar la construcción de rellenos en ladera

La mayoría de problemas en rellenos o terraplenes ocurren cuando estos son construidos sobre laderas (Véanse figuras 41 y 42). La inestabilidad de rellenos en laderas puede estar asociada a los siguientes factores:

- El peso del relleno constituye una sobrecarga adicional sobre la ladera que puede convertirse en un detonante para la estabilidad de la ladera natural, más aún si ésta se encuentra previamente en equilibrio precario.
- Orientación desfavorable de discontinuidades en la masa rocosa que constituye la ladera.
- Existencia de un contacto entre roca muy descompuesta o suelo, y la roca fresca o poco meteorizada, el cual se orienta generalmente en el mismo sentido de la pendiente de la ladera.
- Dado que la construcción de un relleno interrumpe los flujos naturales de aguas superficiales y subterráneas, la acumulación de agua en el contacto terraplén-suelo in situ y en el terraplén mismo, además de incrementar el peso de la masa deslizante, disminuye la resistencia al corte de los suelos.

Figura 41
Esquema de sección de un terraplén

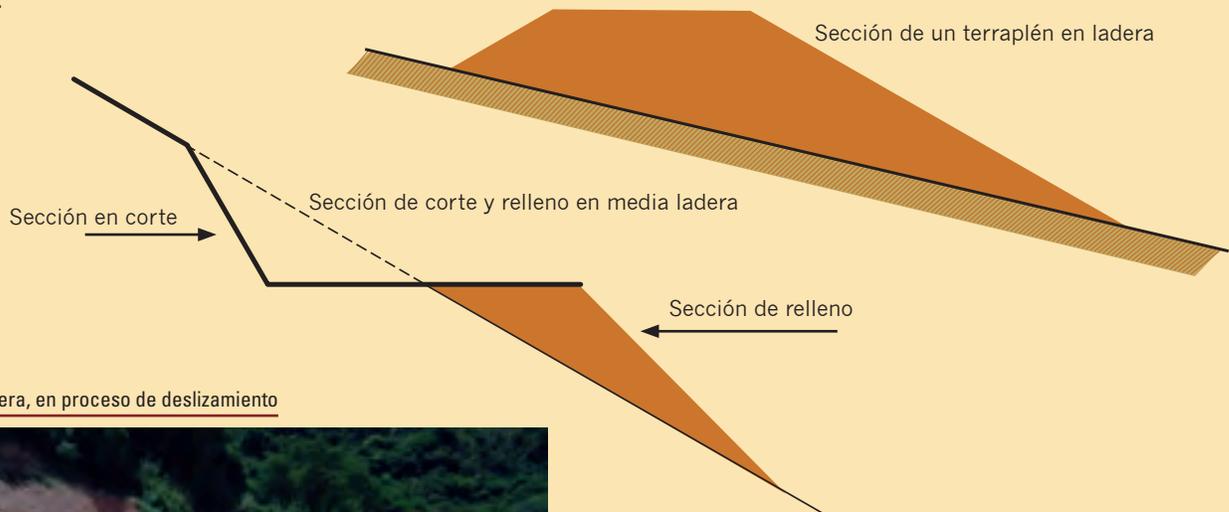


Figura 42
Relleno en ladera, en proceso de deslizamiento



Para construir rellenos en laderas

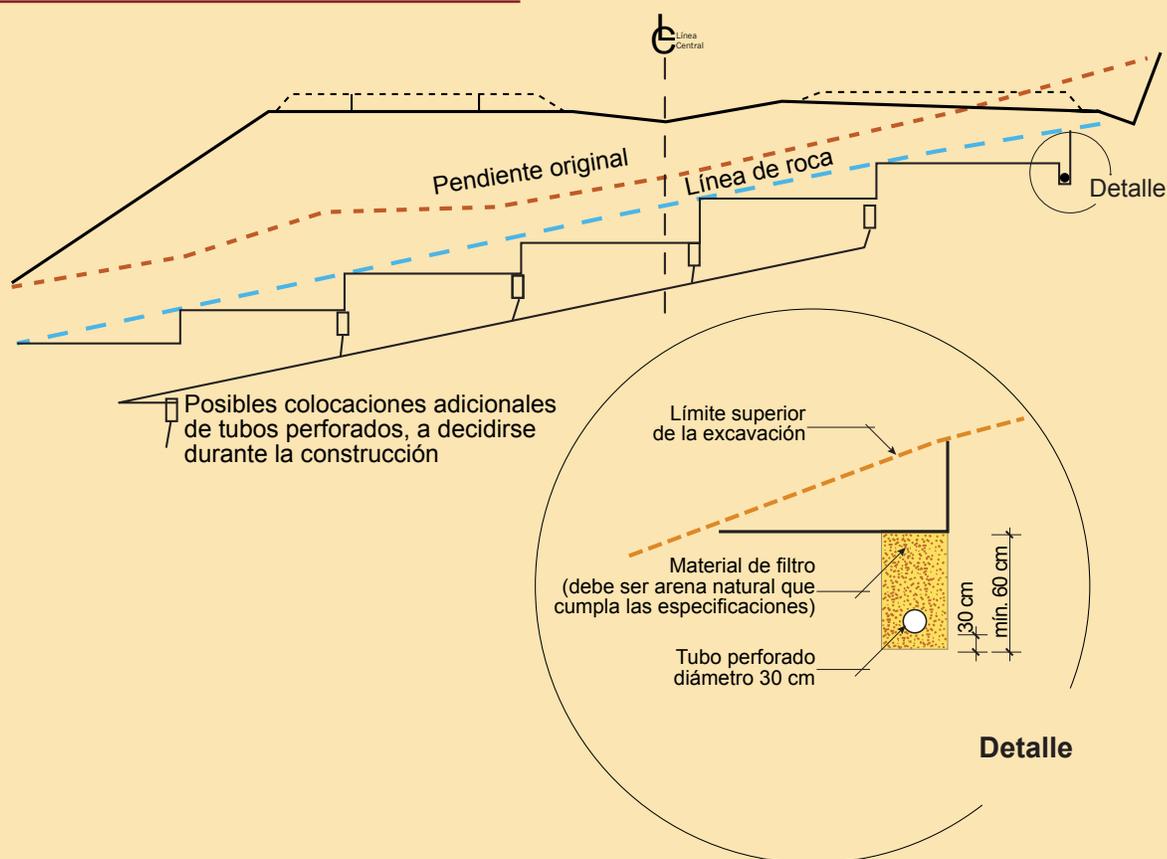
Para minimizar la probabilidad de deslizamientos, es de extrema importancia la preparación adecuada del terreno de fundación y diseñar obras que controlen las aguas subterráneas.

En principio es preferible evitar la construcción de rellenos sobre laderas, pero esto no siempre es posible. Cuando no queda otra opción que construir un relleno sobre una ladera, las prácticas constructivas adecuadas recomiendan escalonar el terreno de fundación para integrar el terraplén al terreno competente, evitando la existencia de un potencial plano de deslizamiento a lo largo del contacto relleno-suelo *in situ*.

El escalonamiento o terraje se requiere usualmente cuando la pendiente natural excede 4:1 o 6:1. (Horizontal:Vertical). Normalmente el ancho de terraza se establece con base en el ancho de la pala del equipo de construcción. Existe una tendencia a construir terrazas demasiado angostas, pero estas tienen que ser lo suficientemente anchas como para permitir que el terraplén tenga un trabamiento efectivo con el suelo *in situ* (figura 43).

Se debe evitar la construcción de rellenos sobre laderas, pero esto no siempre es posible. Para minimizar la probabilidad de deslizamientos, es de extrema importancia la preparación adecuada del terreno de fundación y diseñar obras que controlen las aguas subterráneas.

Figura 43
Ejemplo de escalonamiento del terreno de fundación e instalación típica de subdrenajes para un terraplén en ladera. (HRB, 1971)

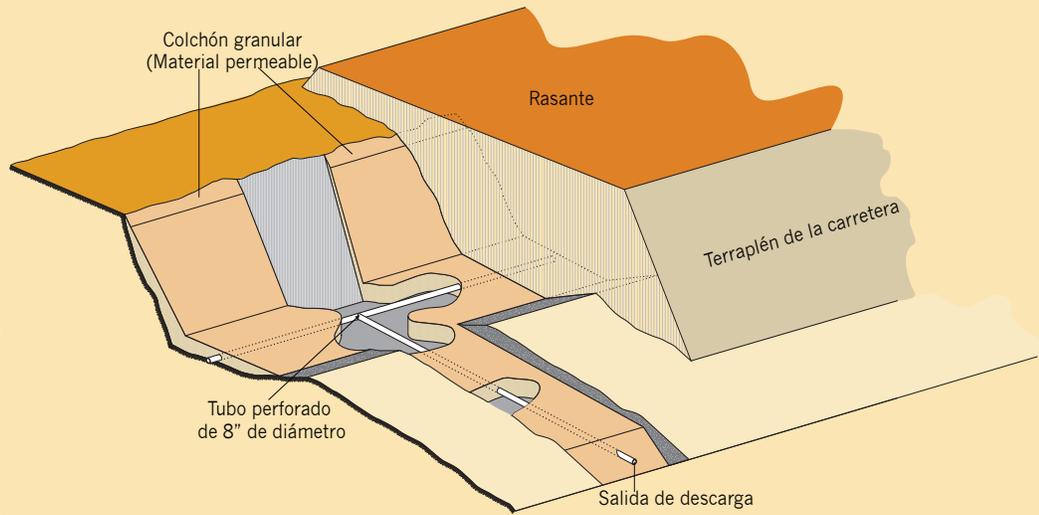


Medidas de drenaje para evitar el efecto de aguas subterráneas en el contacto entre el suelo en sitio y el relleno a construir

Adicionalmente al escalonamiento del terreno de fundación hay que diseñar provisiones especiales de drenaje para prevenir la acumulación de aguas superficiales y subterráneas. Para ello se usan “trincheras interceptoras”, “capas o colchones granulares”, tubos perforados, y/o zanjas de subdrenajes (figura 44).

Cuando se encuentran grandes cantidades de agua, una capa permeable continua puede ser más económica que un sistema de tubos de drenaje. Las capas permeables se colocan generalmente con un espesor mínimo de 30 cm, y debe prestarse especial atención a la gradación del material permeable. Estas capas deben cumplir con los requerimientos de materiales de filtro, los cuales son en cierta forma contradictorios; por una parte deben ser lo suficientemente gruesos como para permitir el libre drenaje de agua, pero por otra parte, no pueden ser tan gruesos como para permitir la migración de finos a través del material permeable.

Figura 44
Uso de trinchera interceptora, colchón granular y tubos de drenaje perforados (Modificado de Cleaves, 1961)



Un error constructivo común es llenar las zanjas de subdrenaje con rocas, pensando solamente en su alta permeabilidad. Si bien los enrocados facilitan inicialmente el drenaje, con el tiempo los vacíos entre las rocas comienzan a colmatarse de suelos finos, constituyendo finalmente una barrera impermeable que permite la generación de presiones hidrostáticas, con los consecuentes daños a la plataforma de la vía.

Cuando se encuentra agua subterránea a grandes profundidades también se pueden utilizar drenes horizontales.

Estos drenes son instalados perforando lateralmente desde un punto en o por debajo del pie de la pendiente del relleno propuesto y pueden alcanzar longitudes entre 45 m y 90 m.

Las aguas subterráneas también pueden ser interceptadas mediante pozos verticales rellenos o no, con material permeable, los cuales tienen como objetivo reducir las presiones hidrostáticas. En la actualidad, es práctica común colocar tubos perforados recubiertos con geotextil no tejido, cuya función es impedir la migración del material fino (figura 45).

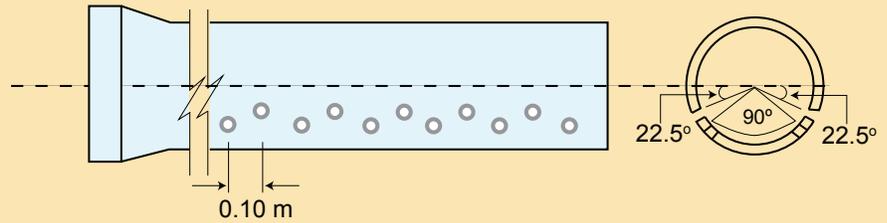
Figura 45
Vista general y detalles de tubo plástico perforado de 2" de diámetro, recubierto con geotextil y malla, utilizado en perforaciones horizontales



Las especificaciones más utilizadas para requerimientos de materiales de filtro relacionan el tamaño de grano de material de filtro con las características granulométricas del suelo adyacente, y deben ser también parte del estudio geotécnico previo al urbanismo.

Es una práctica común incluir una tubería perforada en los subdrenajes, embebida dentro del material filtrante. El tubo tiene como objeto proporcionar una salida fácil y rápida del agua, y las perforaciones permiten el acceso del agua al interior del tubo. No se considera conveniente realizar las perforaciones en la parte superior del tubo, ya que eso favorece la entrada de partículas finas del material de filtro, y tampoco es conveniente

Figura 46
Disposición de perforaciones recomendada para tuberías de subdrenaje



realizar las perforaciones en la parte baja del tubo pues se propicia la salida del agua captada. La figura 46 muestra la disposición recomendada para tuberías de subdrenaje. Las perforaciones o ranuras en el tubo, deben cumplir con los requerimientos especificados en el estudio geotécnico previo, en función de las características

granulométricas del suelo a ser drenado.

En la figura 47 se presentan las distintas etapas de construcción de un subdrenaje y un detalle de la tubería de campana y espiga utilizada en ese caso. También existen en el mercado otros tipos de tuberías perforadas recubiertas con geotextil.

Figura 47
Secuencia constructiva de un subdrenaje tubular. Excavación de la zanja, colocación de la tubería perforada, colocación y compactación en capas del material de filtro con equipo vibratorio, y detalle de la tubería perforada.



Cuando no se disponga de materiales que cumplan con los requisitos de filtro previamente mencionados, se puede utilizar piedra picada como relleno de la zanja de los subdrenajes. En tal caso, es imprescindible cubrir la zanja y envolver la piedra picada con un geotextil no tejido, permeable, según la secuencia constructiva de la figura 48. El estudio geotécnico deberá especificar el tipo de geotextil permeable más adecuado para las condiciones particulares evaluadas, satisfaciendo los criterios de permeabilidad, colmatación, supervivencia y durabilidad.

Figura 48
Secuencia constructiva de un subdrenaje con utilización de un geotextil no tejido



Extendido del geotextil y su ajuste a la dimensión de la zanja, colocación del tubo perforado (no mostrado en las fotos), relleno con piedra picada y envoltura final de dicha piedra, para luego proceder a tapar la parte superior con tierra compactada.

Qué se entiende por compactación de suelos

En forma sencilla la compactación se puede definir como la densificación mecánica de un suelo mediante la expulsión de aire de sus vacíos y el reacomodo de las partículas de dicho suelo (figuras 49, 50 y 51). También puede ser definida como un proceso para mejorar la resistencia y las propiedades esfuerzo-deformación de un suelo.

Figura 49
Representación esquemática de suelo suelto y suelo compactado (J.I. Case, 1985)

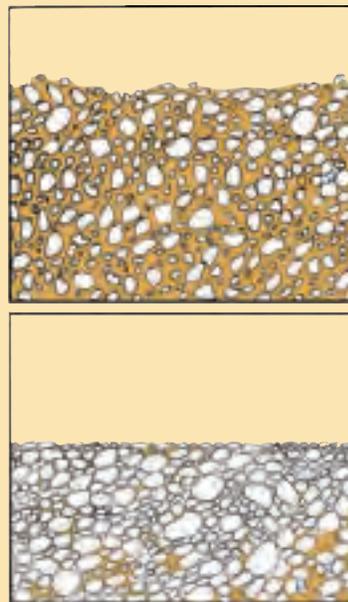


Figura 51
Extensión y compactación de suelo (Forssblad, 1981)

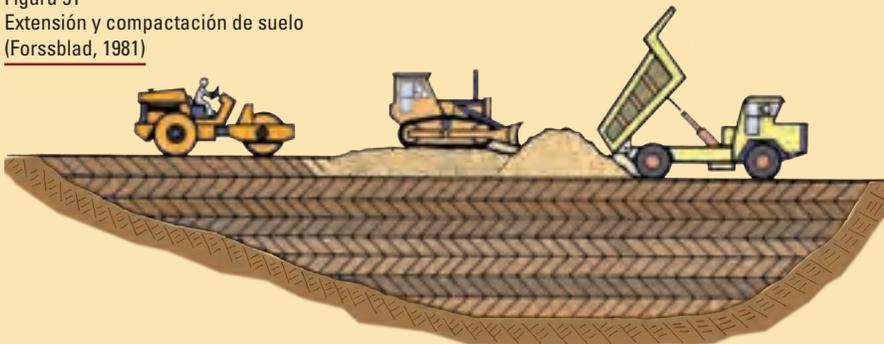


Figura 50
Tipos de compactación



Ensayos de laboratorio para conocer las características de compactación de un suelo

En el año 1933, el ingeniero R. Proctor de Los Ángeles, California, desarrolló un método para compactación de suelos que universalmente se convirtió en una Norma. Este método que informalmente se conoce como “Ensayo Proctor”, consiste en compactar un suelo en el laboratorio para obtener la “máxima densidad seca” ($\gamma_{d \max}$) y luego exigirle al contratista que alcance en el campo, al menos un porcentaje especificado de este valor. Cabe destacar, sin embargo, que la densidad seca por sí misma, no es particularmente importante. Su uso es conveniente porque es fácil de medir en el campo y correlaciona con otras propiedades del suelo, pero su valor debe ser visto como una indicación de otras propiedades del suelo tales como resistencia, compresibilidad, permeabilidad, posible potencial expansivo y resistencia a la erosión.

La versión original del ensayo de laboratorio propuesto por Proctor, se conoce como “Prueba de compactación standard” o “Proctor Normal”, mientras que una revisión posterior incrementando la energía de compactación se ha denominado “Ensayo de compactación modificado” o “Proctor Modificado”.

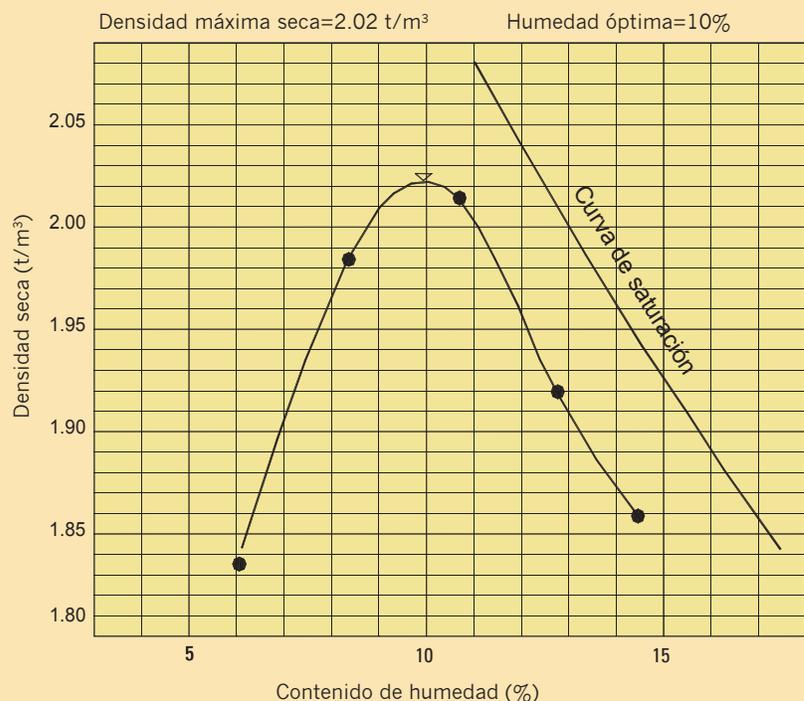
Los resultados de un típico ensayo de compactación relacionan la densidad seca con la humedad de compactación.

El contenido de humedad al cual se alcanza la “densidad máxima seca” se denomina “humedad óptima” (w_{opt}). La rama ascendente hasta alcanzar la densidad máxima seca se denomina “rama seca”, y la descendente “rama húmeda” (figura 52).

La curva de compactación obtenida por el ensayo “Proctor Modificado” da como resultado una mayor densidad seca y un contenido de humedad óptimo menor, respecto a los valores que se obtendrían por el ensayo “Proctor Standard”.

El grado de compactación es el concepto más utilizado para establecer las especificaciones de control de la compactación que debe obtenerse en el campo. A pesar de su amplio uso, el concepto de grado de compactación ha conducido a muchos errores cuando se trata de evaluar la calidad de un suelo compactado.

Figura 52
Curva de compactación



Verificación en campo de la compactación adecuada de un relleno

Con el fin de controlar la calidad de la compactación especificada de acuerdo a los resultados de los “ensayos Proctor”, se requiere medir en el campo la densidad seca y la humedad, luego de finalizada la compactación de campo.

Existen muchos métodos para la determinación de densidades en campo, sin embargo, dos de los más utilizados son el método del cono de arena y el densímetro nuclear (figuras 53, 54 y 55).

Figura 53
Equipo para la determinación de densidades *in situ*, mediante el cono de arena



Figura 54
Densímetro nuclear para determinación de densidades y humedades en sitio

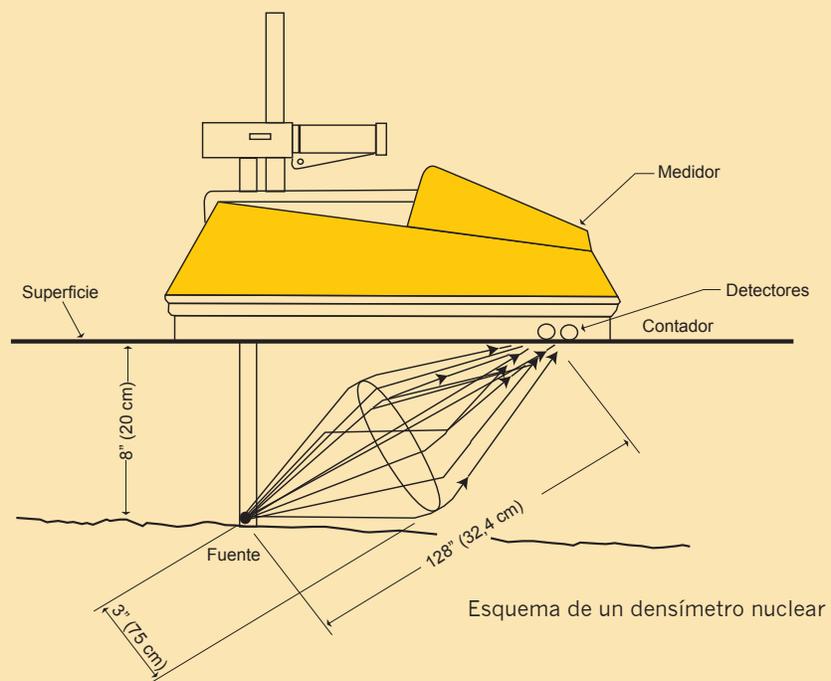


Significado del grado de compactación

El grado de compactación es el concepto más utilizado para establecer las especificaciones de control de la compactación que debe obtenerse en el campo. El grado de compactación (Gc) de un suelo, se expresa dividiendo la densidad seca determinada en campo entre la densidad máxima seca determinada en los ensayos de compactación, expresándolo en porcentaje. A pesar de su amplio uso, el concepto de grado de compactación ha conducido a muchos errores cuando se trata de evaluar la calidad de un suelo compactado.

Son frecuentes los casos donde a un contratista se le rechaza el trabajo por no alcanzar el grado de compactación exigido, y otros casos donde el contratista se siente feliz debido a que sus grados de compactación están inclusive sobre el 100%.

Figura 55
Esquema de un densímetro nuclear



Esquema de un densímetro nuclear

En la literatura se pueden encontrar muchos casos históricos donde el relleno se compactó al 100% de la densidad máxima seca, pero no resultaron estables. Igualmente casos donde aun cuando escasamente se llegó al 90% de la compactación máxima

exigida, se estaba obteniendo un suelo de buena resistencia. Estos casos también demuestran las dificultades que pueden surgir si las especificaciones de control se apoyan solamente en criterios exclusivamente de densidades, sin prestar atención alguna al contenido de humedad.

Es lamentable que todavía hoy en día muchos ingenieros continúan aferrados estrictamente a la especificación del 95% de la densidad máxima seca y/o el contenido de humedad, sin importarles el objetivo para el cual el relleno está siendo compactado. En otras palabras, en diferentes obras donde se requieren rellenos compactados, es común observar que el interés principal tanto de la empresa constructora como de la inspección, se concentra en cumplir unos requisitos de densidad y/o humedad obtenidos en ensayos de laboratorio previos, sin conocer la interrelación entre estos patrones de control y las características de resistencia y compresibilidad del suelo (Seed, 1966; Ortas, 1994).

El grado de compactación debe ser visto como una medida indirecta de otras propiedades del suelo compactado que se desean obtener, y los valores aceptables de dichas propiedades no necesariamente coinciden con el 90% o 95% de la densidad máxima seca (figuras 56 a, b y c, tomadas de Ortas, 1994). En el caso de suelos expansivos, por ejemplo, además de la resistencia, se requiere que el suelo compactado no se expanda por futuros cambios de humedad; este último requisito puede lograrse compactando el suelo a baja densidad y a una humedad por encima de la óptima, lo que en absoluto tiene que coincidir con el requisito de 90% o 95% de la densidad máxima seca obtenida con el ensayo Proctor Modificado.

Esta discusión acerca del grado de compactación del suelo conduce a concluir en la necesidad de consultar a un especialista en geotecnia cuando se presenten problemas de incumplimiento en las especificaciones de compactación.

Figura 56 a
Interrelación densidad seca-humedad-resistencia a la compresión sin confinar para un suelo residual limo arcilloso en su condición compactada

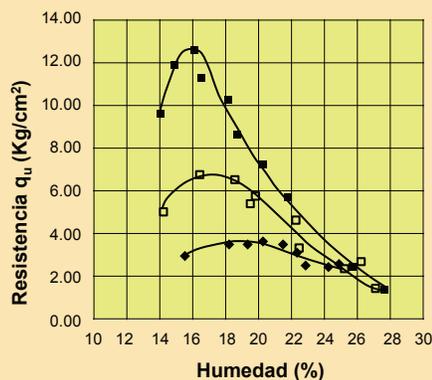


Figura 56 b
Interrelación densidad seca-humedad-resistencia CBR para el mismo suelo en su condición compactada.

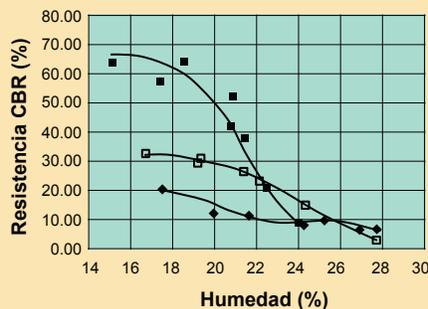
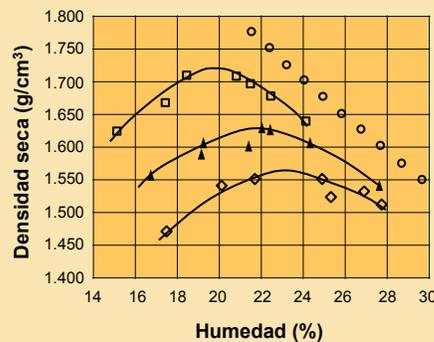
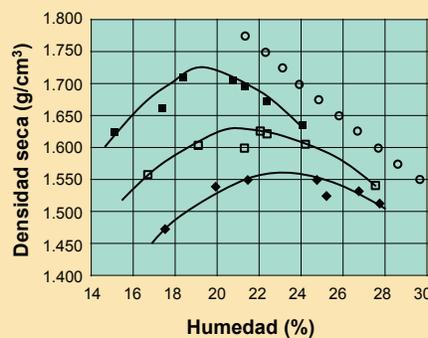
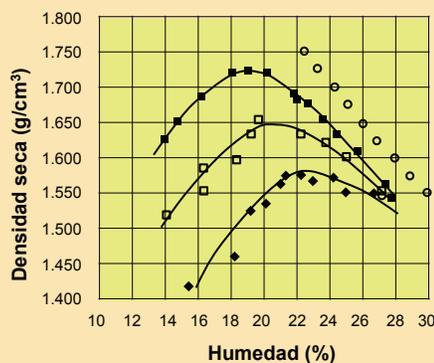
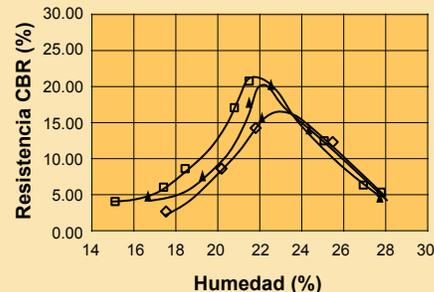


Figura 56 c
Interrelación entre densidad seca-humedad-resistencia CBR para el suelo compactado sometido a 4 días de inmersión



■ 22 Golpes □ 10 Golpes ◆ 5 Golpes ○ 100% Sat

■ 56 Golpes □ 25 Golpes ◆ 12 Golpes ○ 100% Sat

■ 56 Golpes ▲ 25 Golpes ◇ 12 Golpes ○ 100% Sat

Factores a tener presentes cuando se compactan suelos arcillosos y suelos granulares

Las siguientes conclusiones de investigaciones realizadas en **suelos arcillosos** compactados, deben tenerse presentes cuando se construyen rellenos compactados:

- La muestra compactada a la densidad más alta, no necesariamente tiene la mayor resistencia.
- Las muestras con menor resistencia son las de grado de saturación más alto.
- Existe una gran pérdida de resistencia con pequeños cambios en humedad.
- Se pueden presentar casos donde se exige al contratista incrementar su densidad con un mayor número de pases del compactador, y con ello lo que se logra más bien es un material con menor resistencia, lo cual podría causar además, el

hundimiento del equipo de compactación en el suelo. Tales resultados también nos permite concluir la necesidad extrema de controlar además, la humedad de compactación. Desde el punto de vista constructivo, la distribución adecuada y uniforme de la humedad se logra mediante equipos que permitan el riego controlado por aspersión.

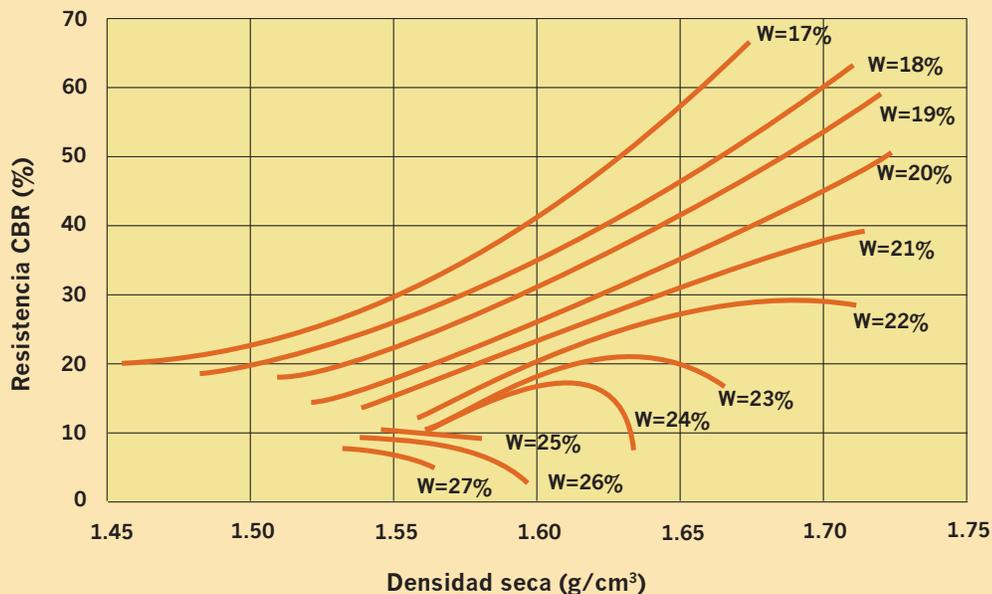
- Las muestras compactadas en la rama seca de la curva de compactación tienen una disminución importante en su resistencia al ser sometidas a un proceso de absorción de agua.

Con base en lo expuesto, el grado de compactación no debe ser visto como un criterio rígido que no admite modificaciones. La inspección debe establecer –en conjunto con el responsable del

estudio geotécnico previo– los valores definitivos de control de la compactación de acuerdo a resultados de ensayos y empleando su criterio adaptado a cada proyecto en particular. Las pruebas de campo al inicio de la obra también proveerán valiosos resultados para optimizar los patrones de control.

A diferencia de los suelos finos arcillosos donde se pueden generar presiones de poros y pérdida de resistencia con aumento de densidad, los **suelos granulares** generalmente aumentan su resistencia y disminuyen su compresibilidad con un aumento de su densidad. En este sentido, las normas tienen tendencia a especificar la densidad más alta posible que se pueda obtener (figura 57).

Figura 57
Relación entre densidad seca y resistencia CBR para diferentes humedades de compactación de un suelo residual limo arcilloso (Ortas, 1994).



Nótese que a humedades altas, la resistencia disminuye con el aumento de la densidad.

Factores volumétricos y su importancia en una obra de movimiento de tierras

La claridad de conceptos entre las relaciones de volumen de los suelos en sitios de préstamos, con respecto a su volumen cuando son transportados y cuando son finalmente compactados, es fundamental tanto desde el punto de vista técnico como económico, en cualquier movimiento de tierras. Estas relaciones se conocen en forma generalizada como “factores volumétricos”. Su determinación exige la mayor precisión posible porque pequeños errores en su determinación tienen una influencia importante en los cálculos de volúmenes y como consecuencia en los costos asociados a las obras.

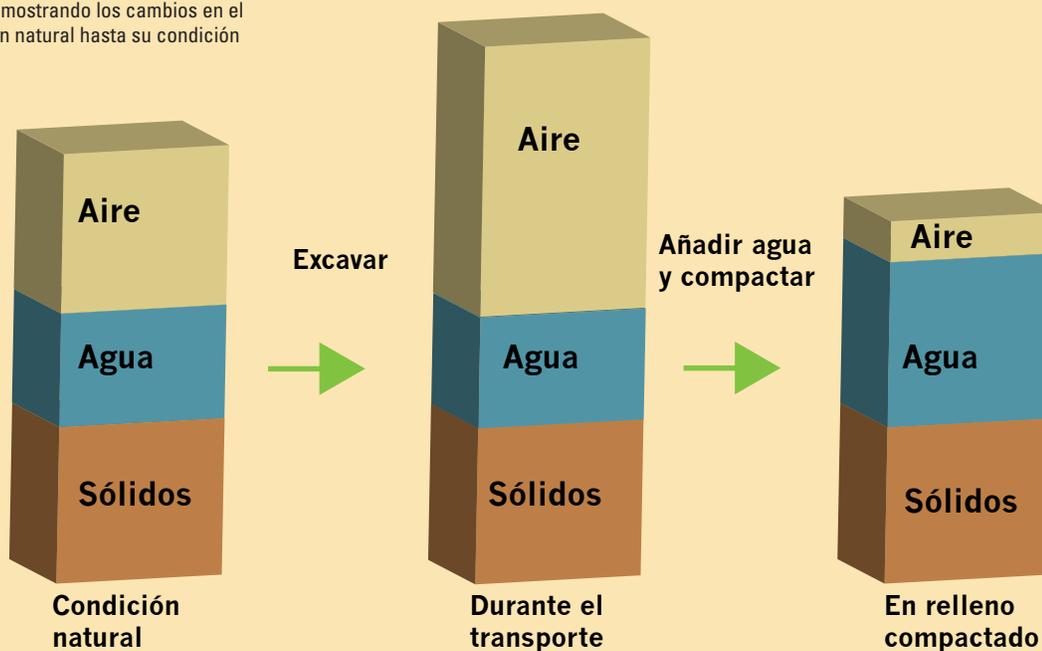
Cuando un suelo se excava y se transporta desde su sitio natural hasta un terraplén donde es compactado, ocurren cambios en sus fases los cuales se indican en forma sencilla en la figura 58 donde los volúmenes de tierra se pueden definir bajo diferentes condiciones: a) en estado natural; b) en estado suelto (en camiones por ejemplo), y c) después de la compactación.

Los términos “factor de esponjamiento” y “factor de expansión” han sido utilizados por ingenieros en situaciones similares. Existen confusiones cuando se trata de definir cuál densidad se debe utilizar para cada caso específico. Observando las relaciones de volúmenes de la figura 58, se puede concluir que:

- Hay expansión o esponjamiento del estado natural al transporte.
- Hay expansión o esponjamiento del estado compactado al transporte.
- Hay expansión o esponjamiento del estado compactado al estado natural.
- Hay encogimiento del estado natural al estado compactado.
- Hay encogimiento del estado en el transporte al estado natural.
- Hay encogimiento del estado en el transporte al estado compactado.

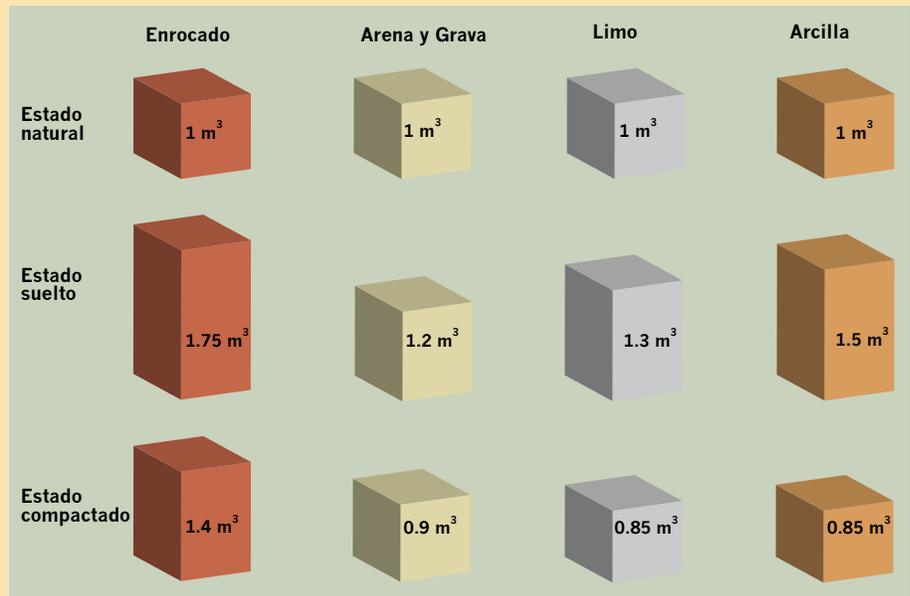
Por esta razón, se prefiere el uso del término “factores volumétricos”, indicando específicamente las condiciones que están siendo relacionadas. Estas consideraciones han sido tratadas en forma más detallada por Salcedo (1973).

Figura 58
Diagrama de tres fases, mostrando los cambios en el suelo desde su condición natural hasta su condición compactada



La práctica técnica correcta recomienda que los factores entre los diferentes estados del suelo, sean determinados específicamente para cada material que se va a utilizar en obra. Como una guía, la figura 59 muestra, en forma generalizada, el orden de magnitud de los volúmenes de diferentes tipos de materiales para rellenos en sus condiciones naturales, sueltos y compactados. Si excavamos 1 m^3 en el préstamo, lo único que se mantiene constante a lo largo del recorrido hasta el terraplén compactado, es el peso seco del material.

Figura 59
Volúmenes de diferentes tipos de materiales de relleno en estado natural, suelto y compactado (Forssblad, 1981).



Equipos y métodos que se utilizan para compactación de suelos en campo

La mayoría de los equipos de compactación utilizan uno o más de los siguientes cuatro métodos: Presión estática, Impacto, Vibración y Amasado.

- **Presión estática:** La presión de contacto entre el equipo y el terreno es probablemente el factor más importante en la compactación resultante de los suelos subyacentes.
- **Impacto:** Algunos equipos imparten al suelo una serie de golpes, tal como un peso en caída libre. Esta acción añade una componente dinámica al esfuerzo de compactación.
- **Vibración:** Los equipos de compactación vibratorios utilizan pesos excéntricos o algún otro dispositivo para inducir fuertes vibraciones al suelo, lo cual mejora su compactación. Las vibraciones típicamente tienen

una frecuencia entre 1.000 y 3.500 ciclos por minuto.

- **Amasado:** Aquellos equipos de compactación que imparten fuerzas de corte al suelo, también contribuyen a una mejor compactación. Esta acción se llama “amasado” o “manipulación”. Hay que destacar, sin embargo, que la excesiva manipulación, tal como en un relleno muy húmedo, puede ser más bien negativa. Cuando tales rellenos se mueven a su alrededor sin que se compacten, esta condición se conoce en campo como “bombas”.

Entre los equipos de compactación se pueden mencionar los compactadores “pata de cabra” que combinan acción estática y de amasado,

los “compactadores de rodillos lisos” que es un método esencialmente estático, y los “compactadores de rodillos lisos vibratorios” cuyo efecto se produce esencialmente por la superposición de tres factores: la carga vertical del equipo, la vibración forzada y el impacto sobre el suelo cada vez que el rodillo se despegaría periódicamente durante dicha vibración. Los compactadores denominados “tamper” o “apisonadores” que tienen puntas troncocónicas o troncopiramidales pueden trabajar a altas velocidades y algunos modelos tienen además como opción el efecto de vibración, por lo cual desarrollan las cuatro fuerzas de compactación: estática, impacto, amasado y vibración.

Los compactadores vibratorios son especialmente adecuados y económicos para la compactación de arenas y gravas. En el caso de suelos arcillosos, aún a su contenido de humedad óptimo, requieren de un esfuerzo de compactación considerable y menores espesores de capa en comparación con suelos no cohesivos. Las posibilidades de compactar suelos arcillosos con compactadores vibratorios se está haciendo cada día más evidente, aunque está muy generalizada la idea de que este tipo de compactación solamente es adecuada para suelos no cohesivos. Sin embargo, cuando se desea compactar arcillas con métodos vibratorios, es necesario el uso de pesos estáticos altos. Si además el compactador es de zapatas o pata de cabra, es posible aumentar las fuerzas que actúan sobre la superficie y romper los grumos

o pedazos duros de arcilla. Los compactadores de rodillos con zapatas vibratorios son capaces de compactar capas de espesores mayores que rodillos con zapatas estáticos.

La selección apropiada del equipo de compactación para una obra específica depende del tipo de suelo a compactar, de los requerimientos de compactación establecidos en el proyecto, de los equipos disponibles antes de comenzar los trabajos y del tiempo disponible para realizar el trabajo (figura 60).

La figura 61 indica los equipos más apropiados para diferentes tipos de suelos. Esta figura solo puede ser utilizada como una guía general para la selección de los equipos que se consideran más eficientes para un suelo en particular.

Figura 60
Compactadoras



Compactadora de rodillo con zapatas



Compactadora de rodillo liso vibratoria



Compactadora de Neumáticos

Figura 61
Equipos de compactación más adecuados según el tipo de suelo (Manual de Caterpillar, 1990).



4. Excavaciones para fundaciones

Qué son las fundaciones de una vivienda

Estos elementos vinculan la estructura de la vivienda al suelo y se encargan de transmitir las cargas y distribuirlas de forma tal que el terreno sea capaz de soportarlas. Por estas razones es de extrema importancia el diseño adecuado y los aspectos constructivos de las fundaciones. Corregir los problemas de fundación una vez finalizada la obra, es mucho más complejo y costoso que realizar correctamente las obras desde un principio.

La selección del tipo de fundación para una estructura determinada depende de la resistencia y compresibilidad del terreno sobre el cual se va a fundar, de la magnitud de las cargas estructurales y de la profundidad del nivel de aguas subterráneas. Estos factores son analizados durante el estudio geotécnico previo.

Tipos de fundaciones

Las fundaciones se pueden clasificar en términos generales en superficiales y profundas. Cuando el terreno próximo a la superficie es resistente y muy poco compresible, la vivienda se puede fundar a poca profundidad (generalmente 0,5m a 2,5 m) y se denominan fundaciones superficiales (figura 62) . Cuando las cargas de la estructura son muy grandes y el suelo próximo a la superficie es poco resistente y/o compresible, se utilizan fundaciones profundas conformadas por pilotes que pueden ser de concreto armado o acero con profundidades que permitan transmitir las cargas a estratos competentes. Los pilotes pueden soportar la carga tanto en su base como en su fuste. Dado que la presente publicación se refiere a viviendas de relativa poca carga a ser fundadas sobre suelos competentes próximos a la superficie, no se describen los aspectos de diseño y constructivos de fundaciones sobre pilotes.

Las fundaciones –también denominadas cimientos– constituyen la parte de la estructura que transmite las cargas al terreno. Son los elementos que vinculan la estructura de la vivienda al suelo y se encargan de transmitir las cargas y distribuirlas de forma tal que el terreno sea capaz de soportarlas.

Figura 62
Ejemplos de fundaciones directas



Excavaciones para zapatas de fundación



Colocación de armadura para zapata de fundación



Concreto vaciado en zapata de fundación

Fundaciones superficiales para viviendas

En la mayoría de los casos, siempre y cuando el subsuelo no esté constituido por suelos sueltos, blandos y compresibles, las fundaciones para viviendas hasta un máximo de 2 pisos se resuelven mediante sistemas de fundación conocidas como directas o superficiales. Este sistema de fundación comprende zapatas aisladas, debidamente arriostradas, fundaciones corridas en forma de tiras, y losas de fundación. Las figuras 63 y 64 muestran esquemas de los mencionados tipos de fundación. Los aspectos constructivos de las fundaciones superficiales desde el punto de vista estructural, serán objeto de otro fascículo.

Figura 63
Tipos de fundaciones superficiales

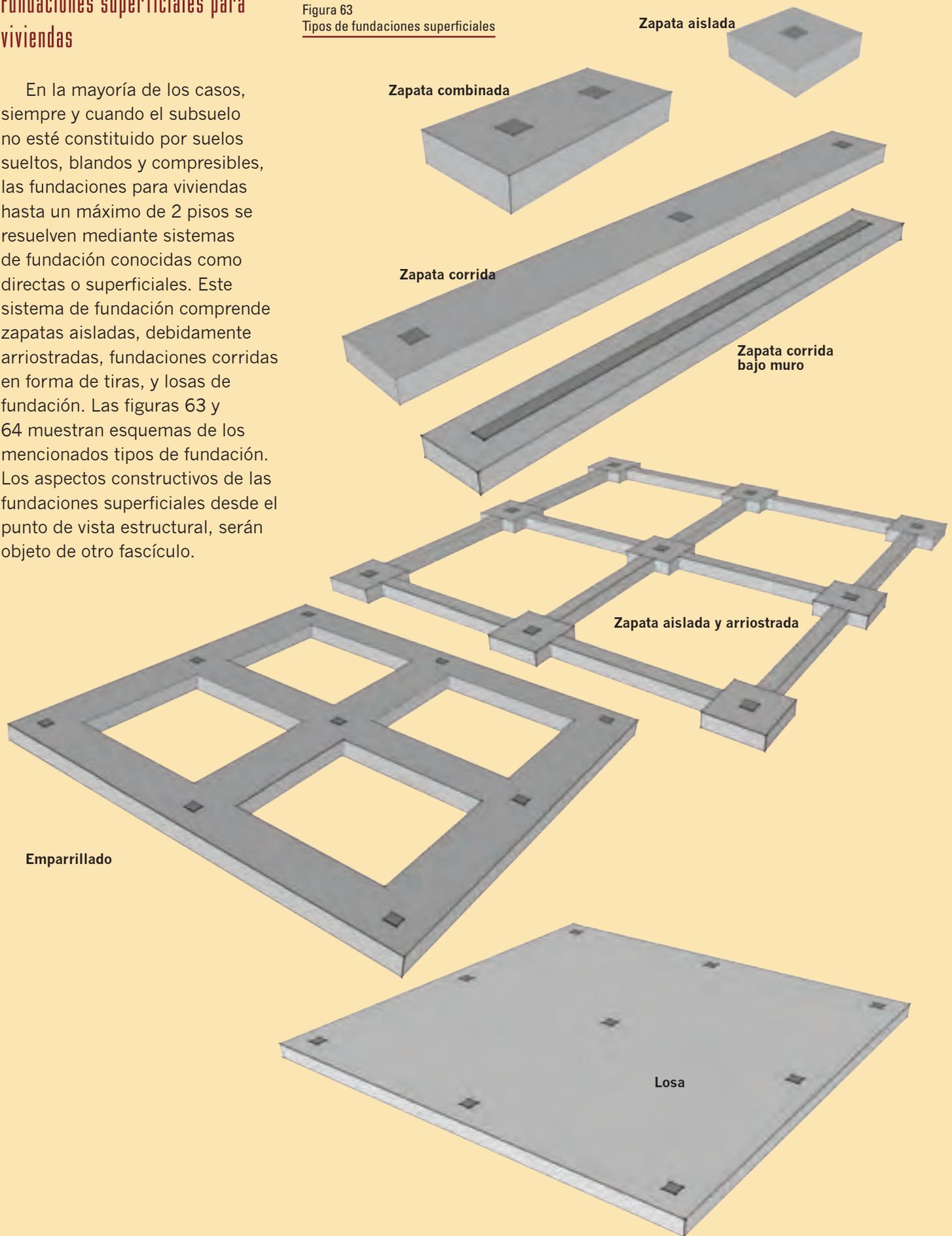
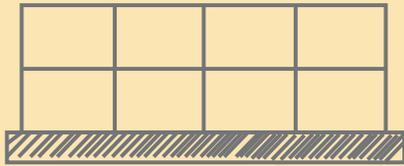
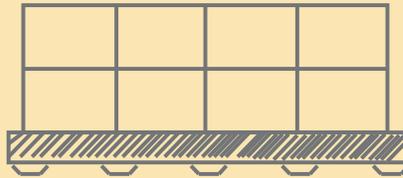


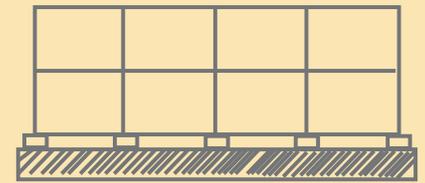
Figura 64
Tipos de losa de fundación



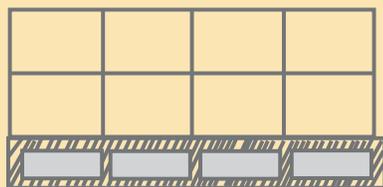
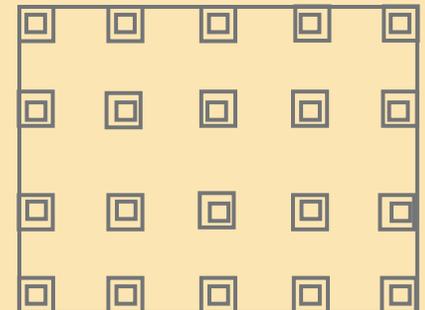
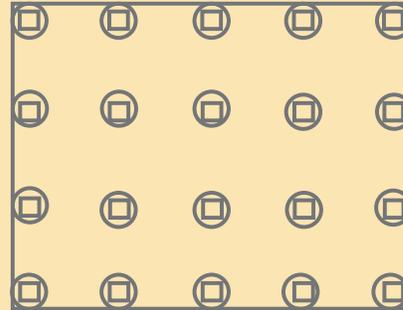
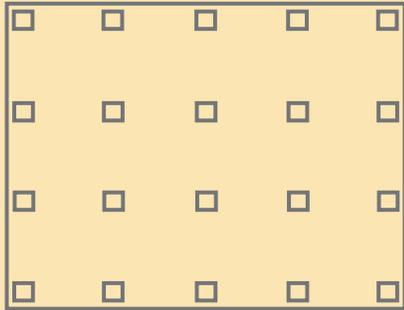
Losa continua uniforme



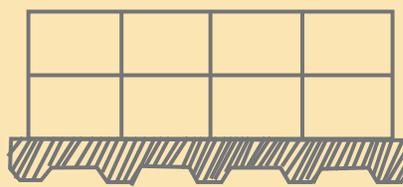
Losa con refuerzos bajo columnas



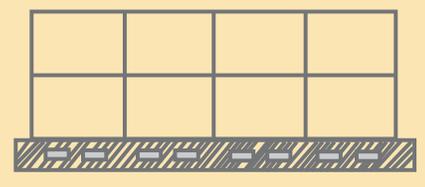
Losa con pedestales



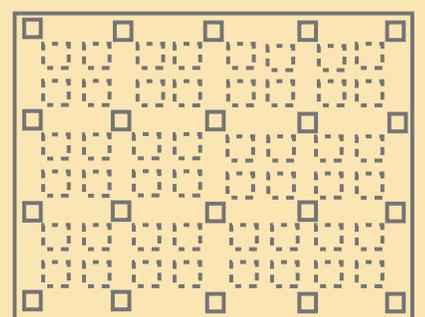
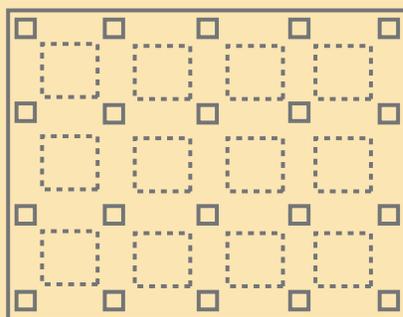
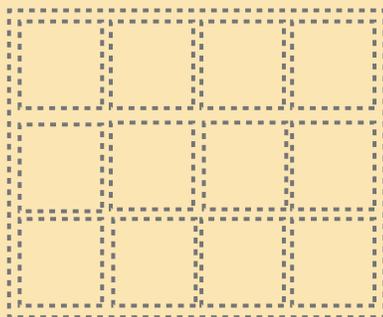
Losa "Cajón"



Losa nervada



Losa aligerada



Aspectos constructivos de importancia cuando se realizan excavaciones para fundaciones superficiales

Como parte de las actividades de acondicionamiento del terreno, para la construcción de las fundaciones directas se requieren excavaciones previas hasta alcanzar la cota de fundación especificada por el estudio geotécnico previo y comprobar que se detectó el suelo o roca descrito en dicho estudio. De encontrarse condiciones de suelos distintas a las indicadas en el estudio geotécnico, se deberá contactar al Ingeniero responsable de dicho estudio para que ajuste o modifique sus recomendaciones, en caso de ser necesario.

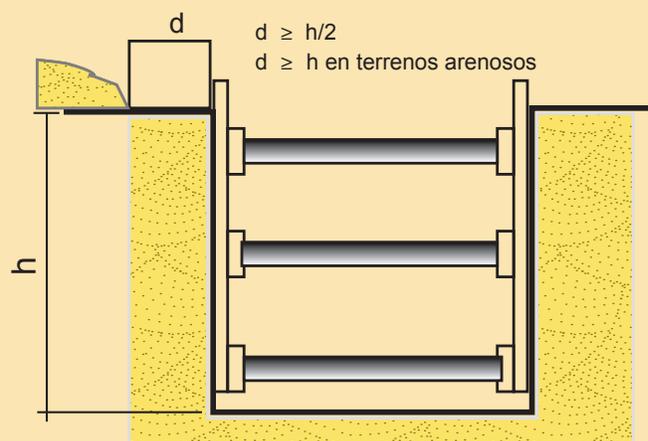
En el caso de fundaciones aisladas, debidamente arriostradas, las profundidades de dichas excavaciones normalmente están entre 1,5 m y 2,5 m, y en muy pocos casos alcanzan los 4 m de profundidad. En el caso de losas de fundación, las profundidades de excavación son en general menores de 1,5 m.

Excavaciones mayores de 1,5 m de profundidad requieren especial atención para asegurar la estabilidad de las paredes y evitar riesgos de deslizamientos que pudieran comprometer la seguridad de los obreros. Si las capas superiores del suelo están constituidas por suelos granulares sueltos o arcillas blandas, las excavaciones verticales requerirán de sistemas de protección de sus paredes mediante un entibado o apuntalamiento adecuado. El entibado más común se realiza con tablas de madera, pero pueden ser también de acero o aluminio. La figura 65 muestra un esquema típico de entibado para excavaciones en terrenos arenosos.

Hay que destacar que en lo posible se debe evitar la construcción de fundaciones directas cercanas a cresta de laderas naturales o taludes de corte, y en tales casos se debe estudiar en detalle la estabilidad de dicho talud o ladera, incorporando las cargas provenientes de la edificación a ser construida.

Figura 65
Esquema de entibado de excavaciones

(Tomado de: Manual de Seguridad, 2010; www.grupo.isatur.com)



Otro de los aspectos más importantes cuando se realizan excavaciones para fundaciones, es evitar que las aguas de lluvia y escorrentía ingresen en la excavación, lo cual ablandará el suelo a la cota de fundación, disminuyendo su resistencia y aumentando su compresibilidad, generando como consecuencia daños posteriores en la estructura de la vivienda.

En caso de haberse reblandecido el terreno de fundación por efecto de filtraciones de agua, se podrá profundizar la fundación o sustituir la parte blanda por concreto de resistencia a la compresión a los 28 días de 80 kg/cm². Asimismo se debe rellenar con concreto de la misma calidad, toda cavidad imprevista tales como bachequeras o huecos provenientes de piedras extraídas que aparezcan en el lecho de fundación.

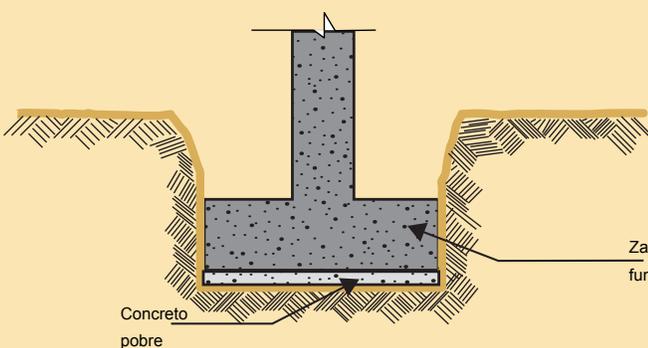
En el caso de que exista un nivel freático o filtraciones de agua subterránea por encima de la cota de excavación, se deberán tomar las precauciones necesarias para drenar el agua del subsuelo con un sistema de drenaje efectivo que permita el achicamiento del agua durante todas las actividades de construcción de las fundaciones.

En el caso de fundaciones sobre rocas que presenten fisuras o diaclasas abiertas, éstas deben ser rellenadas con mortero o lechada, dependiendo de sus dimensiones. Si las fracturas están rellenas de material muy meteorizado o blando, se debe excavar la fisura hasta una profundidad no menor de tres veces su ancho y rellenarla con mortero o lechada dosificados en función del espesor de la fisura.

Existe una tendencia generalizada a colocar una capa de grava o piedra picada en contacto con el suelo de fundación, con el objeto de regularizar la superficie de contacto antes de la colocación del refuerzo y vaciado de concreto de la fundación. Esta práctica constructiva puede originar la concentración de aguas sobre el terreno de fundación afectándolo negativamente y permite que la lechada del concreto estructural penetre en el terreno quedando los agregados de la parte inferior mal recubiertos.

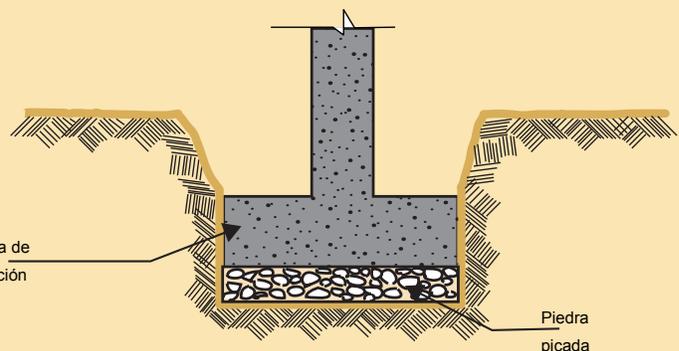
Se considera preferible descartar este procedimiento generalizado, y colocar en lugar de la piedra picada, una delgada capa de concreto pobre (Rc28 = 80 kg/cm²) de 10 cm de espesor mínimo, para conformar las irregularidades propias del terreno (figuras 66 y 67).

Figura 66
Procedimiento recomendable



Colocación de capa delgada de concreto pobre, antes de vaciar el concreto de fundaciones superficiales

Figura 67
Procedimiento **No** recomendable



Colocación de capa de piedra picada antes de vaciar el concreto de fundaciones superficiales

Si la capa delgada de concreto pobre no va a ser construida inmediatamente después de finalizada la excavación, se recomienda dejar ésta de 10 a 15 cm por encima de la cota definitiva de fundación hasta el momento en que todo esté listo para proceder con el vaciado de concreto estructural. Antes del vaciado de concreto estructural se deberá verificar que los encofrados están colocados correctamente y son del tipo recomendado en el proyecto, y que las armaduras colocadas son del tipo, número y longitud que deben estar especificados igualmente en el proyecto.

Una vez construida la fundación a la cota especificada en el estudio geotécnico, la excavación debe ser rellenada nuevamente en capas individuales debidamente compactadas a la densidad y humedad indicada en el referido estudio.

Finalmente hay que destacar que en lo posible se debe evitar la construcción de fundaciones directas cercanas a cresta de laderas naturales o taludes de corte, y en tales casos se debe estudiar en detalle la estabilidad de dicho talud o ladera, incorporando las cargas provenientes de la edificación a ser construida (figuras 68 y 69).

Un tema adicional asociado a urbanismos y a la construcción de viviendas en general, es el de las estructuras de contención. Tales estructuras pueden ser requeridas inicialmente como parte del proyecto urbano y vial, o posteriormente para contener los empujes de tierra derivados de excavaciones dentro del área de la vivienda, o para contener rellenos previstos asociados a modificaciones topográficas del terreno a nivel de parcela. Asimismo, las estructuras de contención pueden ser necesarias

para corregir y reparar fallas de taludes naturales o de corte y terraplenes que ocurran después de finalizado el movimiento de tierras y terminada la delimitación de parcelas.

Entre las estructuras de contención, tema que será objeto de un fascículo por separado, se pueden mencionar muros de concreto armado con o sin contrafuertes, muros de gaviones, muros de suelos reforzados con pletinas o con geosintéticos, pantallas con barras pasivas (clavetaje), muros o pantallas con anclajes activos, y sistemas de contención de caída de rocas. Estas estructuras requieren la elaboración de un proyecto detallado a ser realizado por especialistas en geotecnia y estructuras. Aspectos teóricos y constructivos de estructuras de contención pueden ser consultados en Salcedo, 1997.

Figura 68
Excavaciones para fundaciones de una vivienda en ladera



Estas excavaciones representan un alto riesgo. Nótese indicios de inestabilidad en la zona inferior de la ladera.

Figura 69
Zapata de fundación construida en cresta de talud



Zapata de fundación que quedó sin confinamiento por deslizamiento según los planos de foliación de la roca.

Glosario de términos

Afloramiento de roca

Exposición de una masa rocosa en la superficie del terreno.

Ángulo de fricción interna

Equivalente al coeficiente de fricción. Es un parámetro de resistencia de suelos y rocas que mide la relación máxima entre el esfuerzo tangencial y el esfuerzo normal en una superficie de falla.

Ángulo de reposo

Es el ángulo máximo con respecto a la horizontal que forma el talud de un material granular que se deposita en caída libre, o cuando éste ha alcanzado un estado de equilibrio después de sufrir algún desplazamiento.

Anisotropía

Término para referirse a un material que tiene diferentes propiedades en distintas direcciones.

Asentamiento

La colocación de una carga sobre una superficie produce un incremento en los esfuerzos verticales efectivos los cuales inducen deformaciones verticales, causando un movimiento del suelo hacia abajo. Este movimiento hacia abajo se denomina asentamiento. Cuando los asentamientos ocurren en un área muy grande, se usa el término “subsistencia.”

Azimut

Ángulo medido en el sentido horario sobre un plano horizontal que forma una línea dada con el Norte.

Cárcava

Tipo de erosión concentrada en surcos que se forma por el escurrimiento de las aguas sobre la superficie de las laderas. Puede tener forma de “U” o de “V”.

Cohesión

En un suelo, la propiedad que tienen las partículas de atraerse entre sí. La cohesión determina la capacidad de un suelo para resistir el corte por deslizamiento. Expresa la fuerza por la cual las moléculas homogéneas de un cuerpo se adhieren unas con otras. Se define también como la resistencia al corte cuando la presión normal efectiva es nula.

Corte

Excavación o banqueo realizado con pico y pala o con maquinaria, en terreno natural o en material de relleno.

Densidad

Es el peso de una unidad de volumen de material expresada en kilogramos por metro cúbico. La densidad máxima seca en un ensayo de compactación, corresponde al máximo valor al cual un suelo puede ser compactado en correspondencia con su humedad óptima.

Deslizamiento

Desplazamiento del terreno tanto vertical como horizontal. Movimiento ladera abajo de una masa de suelo y/o roca.

Deslizamiento rotacional

Deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva, cóncava hacia arriba.

Deslizamiento traslacional

Deslizamiento planar. Deslizamiento en el cual la masa se desplaza a lo largo de una superficie de falla plana o ligeramente ondulada.

Discontinuidad

Se refiere a planos de debilidad en una masa rocosa. Es cualquier plano de un macizo rocoso o de una masa de suelo que separa bloques de material más o menos intactos. Estos planos pueden ser de origen tectónico o sedimentario y se caracterizan porque su resistencia a la tracción es generalmente baja o nula. Cuando la discontinuidad no es 100% persistente, puede tener “puentes de rocas” que aumentan significativamente su resistencia. Ejemplos de discontinuidades son los planos de estratificación, las diaclasas, fallas geológicas y planos de foliación o esquistosidad. La presencia de discontinuidades implica un comportamiento no continuo de las masas rocosas.

Encofrado

Es un sistema de moldes temporales o permanentes para contener y dar forma al concreto, generalmente armado, de una estructura ejecutada en sitio. Debe ser resistente a las cargas, indeformable a las presiones de concreto y estanco para evitar pérdidas apreciables de lechada o mortero.

Ensayo CBR

Este ensayo cuya denominación viene de sus siglas en inglés (California Bearing Ratio) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo. Se utiliza generalmente para evaluar la calidad del terreno que constituye la subrasante, la subbase y la base de pavimentos. El ensayo puede ser ejecutado en muestras tal como fueron compactadas y en muestras sometidas a 4 días de inmersión.

Entibado

También se denomina apuntalamiento. Es el conjunto de medios mecánicos físicos utilizados en forma transitoria para impedir que una zanja excavada en suelos o roca sea afectada por deslizamientos debido a los empujes de tierra. Se define también como una pared con soportes (travesaños) portátil que se coloca en una zanja para mantener las paredes, evitando la ocurrencia de derrumbes. El entibado se coloca para lograr un objetivo de construcción, en el caso objeto de este fascículo de una fundación, por lo cual al final de la obra es retirado en su totalidad.

Erosión

Desgaste o desagregación de una superficie de suelo o roca producida por el viento o el agua en movimiento.

Escarpa o escarpe

Superficie vertical o casi vertical que se desarrolla en la parte superior de una masa de tierra en movimiento.

Esfuerzo

Fuerza actuando en una superficie de un elemento, dividida por el área del elemento.

Esfuerzo cortante

Esfuerzo de corte, tensión cortante, esfuerzo de cizalla. Esfuerzo con dirección paralela al plano sobre el cual actúa.

Factor de seguridad

Relación entre el valor característico de una determinada propiedad o magnitud y el valor de cálculo requerido en estudio de un determinado problema. Se define también en forma general como relación entre la capacidad de resistir y la demanda de resistencia.

Grado de fracturamiento

Es una medida cuantitativa del fracturamiento de una masa rocosa. Se puede obtener mediante la observación de afloramientos en el campo o mediante índices establecidos cuando se realizan perforaciones a máquina.

Geosintéticos

Nombre genérico que incluye geotextiles, geomembranas, geomallas, geocompuestos y otros materiales similares utilizados en ingeniería civil para mejorar o modificar el comportamiento de suelos. Se utilizan como separadores de diferentes tipos de suelos, como refuerzo de suelos y pavimentos, como elementos de drenaje e impermeabilización y como elementos impermeables. La selección del tipo de geosintético a utilizar para una determinada obra debe ser realizada preferiblemente por un especialista en geotecnia.

Hinchamiento

Incremento de volumen que experimentan algunos suelos al aumentar su humedad.

Humedad óptima

Cantidad de agua necesaria para cubrir cada partícula de suelo y poder alcanzar el peso máximo por metro cúbico, según una fuerza de compactación dada.

Isotropía

Término para referirse a un material que tiene las mismas propiedades en todas las direcciones.

Karst

Cavidad o caverna subterránea o superficial ocasionada por la disolución de rocas como calizas, dolomías, yeso y evaporitas. El paisaje generado por estas cavernas se denomina kárstico.

Lechada

Es una mezcla de cemento y agua con una dosificación específica según el fin con el cual vaya a ser utilizada.

Licuación

También se usa el término licuefacción. Se refiere a la pérdida de la resistencia al corte de un suelo debido a un incremento rápido de las presiones de poros del agua. Generalmente ocurre durante un sismo en suelos granulares finos saturados, con baja densidad relativa.

Litología

Tipo de roca o suelo.

Masa rocosa

Es el conjunto de material de roca in situ y sus discontinuidades. La presencia de discontinuidades confiere al macizo un carácter heterogéneo y un comportamiento no continuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, de los cuales depende el comportamiento geomecánico e hidráulico del mismo. En la literatura geotécnica se utilizan los términos “macizo rocoso” y “masa rocosa” en forma equivalente.

Meteorización

Alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica.

Mortero

Es una mezcla de conglomerantes inorgánicos, agregados y agua y posibles aditivos, que sirven para pegar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras y bloques de concreto. El mortero más común es el de cemento y está compuesto por cemento, agregado fino y agua.

Nivel Freático

Nivel del agua subterránea para el cual la presión es igual a la presión atmosférica.

Peso Unitario

Relación entre el peso total y el volumen total de un suelo o roca.

Plasticidad

Es la capacidad que tiene un suelo de experimentar grandes deformaciones irreversibles (no recupera su forma original), sin cambiar de volumen ni romperse.

Porosidad

Relación entre el volumen ocupado por los poros y el volumen total de la muestra de suelo o roca (partículas sólidas + poros).

Pruebas Proctor

Término corriente que se utiliza para describir ensayos de compactación normalizados por la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO por las siglas en inglés de American Association of State Highway and Transportation Officials).

Relleno

Material traído de otra parte y colocado sobre terreno natural. Si se coloca sin compactación, se denomina bote de tierra.

Resistencia al corte

Esfuerzo tangencial máximo que un suelo o roca puede soportar sin alcanzar la rotura. Se expresa frecuentemente en función de la cohesión y del ángulo de fricción.

Roca

Agregado natural compuesto por partículas de uno o más minerales con fuertes uniones cohesivas. Por efecto de la meteorización las rocas van perdiendo sus propiedades geomecánicas originales, por lo cual cuando se trata de clasificar masas rocosas, hay que describirlas tomando en cuenta además de su grado de meteorización, su dureza y fracturamiento. Es conveniente no asociar siempre el término roca al adjetivo duro. Existen rocas blandas y suelos duros.

Saturación

El grado de saturación refleja la cantidad de agua contenida en los poros de un volumen de suelo dado. Se expresa como la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos.

Socavación

Efecto del agua de los ríos y quebradas sobre los bordes de sus cauces, con el deterioro progresivo y arrastre del material que los constituye.

Suelo

Desde el punto de vista de ingeniería se puede definir como un conjunto suelto o denso de granos minerales, con espacios vacíos que pueden estar ocupados por aire y agua, o algún otro fluido. Los suelos son el producto de la meteorización física y/o química de las rocas. También se han definido los suelos como agregados naturales de partículas minerales granulares y cohesivas separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación de agua. No es conveniente utilizar los términos “suelo” y “roca” exclusivamente basados en su facilidad o no de ser excavados o removidos. Existen rocas que reúnen todas las características para ser clasificadas como tal y sin embargo son tan blandas o débiles que pueden ser removidas por medios mecánicos de baja intensidad.

Suelo bien gradado

Se aplica a suelos granulares (arenas y gravas) que presentan una mezcla proporcional de todos los tamaños de granos para un volumen de suelo dado.

Suelo pobremente gradado

Suelo uniformemente gradado. Se aplica este término a los suelos granulares (arenas y gravas) en donde el tamaño de los granos es relativamente uniforme para un volumen de suelo dado.

Suelos finos

Se definen así a los limos y arcillas los cuales tienen partículas menores que la abertura del tamiz # 200 (0.074 mm).

Suelos granulares

Se refiere a suelos esencialmente arenosos y gravosos con partículas de diámetro mayor a 0.074 mm y con poco finos.

Superficie de falla

Se denomina también superficie de ruptura, rotura, o plano de falla. Corresponde al plano más débil a lo largo del cual se rompe el material debido a que las fuerzas que actúan sobre él, son mayores a la resistencia interna del material a lo largo de ese plano. En un deslizamiento corresponde a la superficie que forma el borde inferior del material desplazado por debajo de la superficie original del terreno.

Talud

Ladera, desnivel, pendiente, inclinación o falda de un cerro. Es muy común el uso del término “ladera” para referirse al caso de una pendiente natural, y el término “talud” para referirse a una pendiente originada por corte o banqueo.

Terraplén

Término que se refiere a una estructura de tierra con o sin compactación. En urbanismos y vialidad el término terraplén se refiere a rellenos debidamente compactados.

Referencias bibliográficas

- Bolinaga, J.J. (1975). "Drenaje Urbano". Publicación del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Renovables. Caracas.
- Budhu, M. (2000). "Soil Mechanics and Foundations". John Wiley and Sons, Inc. Network, 586 p.
- Caterpillar (1990). "Manual de Compactación". QSCB8081, Impreso en EEUU, 91 p.
- Cleaves, A.B. (1961). "Landslides Investigations. A field handbook for use in highway location and design". Department of Commerce. U.S. Bureau of Public Roads.
- Coduto, D. (1998). "Geotechnical Engineering. Principles and Practices". Prentice Hall. New Jersey, 759 p.
- Cruden D. M. & Varnes, D. J. (1996). "Landslide types and processes". En Turner K. and Schuster, R. (ed.) Landslides Investigation and mitigation. Washington D. C. National Academy Press, Transportation Research Board. Special Report 247, pp. 36-75.
- CTE-Código Técnico de la Edificación (2007). Documento básico SE-C. Seguridad Estructural. Cimientos. Ministerio de la Vivienda, Comunidad de Madrid, España.
- Forsssblad, L. (1981). "Vibratory Soil and Rockfill Compaction". Dynapack Maskin AB; Solna, Sweden. Printed by Robert Olson Tryckeri AB, Stockholm, Sweden, 175 p.
- Hoek, E. and Bray, J. (1981). "Rock Slope Engineering". The Institution of Mining and Metallurgy, 3rd. Edition. London, 358 p.
- J.I. Case A Tenneco Company. (1985). "Understanding Soil Compaction." Construction Equipment Division. Form NO. UD10684, 20 p.
- Goodman, R. E. (1976). "Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rocks". West Publishing Company. St. Paul Minn, 472 p.
- Goodman, R. E. (1980). "Introduction to Rock Mechanics". John Wiley & Sons Inc. Network, 478 p.

- Goodman, R. E. and Bray, J. W. (1976). "Toppling of Rock Slopes". Proc. Specialty Conference Geotechnical Engineering Division. ASCE. Rock Engineering for foundations and slopes. Boulder, Colorado. Vol. 2, pp. 201-233.
- Highway Research Board (1971). "Construction of Embankments". N.C.H.R.P. No. 8.
- ISRM (1981). "Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses". International Journal of Rock Mechanics, Mining Science & Geomechanics Abstracts. Vol 18, pp. 85-110.
- Manual de Seguridad (2010): www.grupo.isatur.com
- Mitchell, J. K. (1976). "Fundamentals of Soil Behavior". Series in Soil Engineering. John Wiley and Sons Inc. New Jersey, 422 p.
- MOP-Ministerio de Obras Públicas (1971). "Manual de Construcción". Capítulo II. Movimiento de Tierras. Ministerio de Obras Públicas, Caracas.
- MOP-Ministerio de Obras Públicas (1971). Manual de Construcción. Capítulo V. Sub-bases y Bases. Ministerio de Obras Públicas, Caracas, 42 p.
- MOP-Ministerio de Obras Públicas (1971). "Manual de Mantenimiento Vial". Dirección General de Vialidad. Dirección de Mantenimiento. Ministerio de Obras Públicas, Caracas, 37 p.
- Ortas de Martínez, J. (1994). "Influencia de las condiciones de compactación en el comportamiento de un suelo residual". Tesis de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil. Universidad Simón Bolívar. Caracas, 254 p.
- Ortas J. y Salcedo, D. (1995) "Influencia del método de compactación en la resistencia al corte de un suelo residual." Memorias X Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Guadalajara, México. Vol. 1, pp. 325-339.
- Proyecto Multinacional Andino (2007). "Movimientos en Masa en la Región Andina: una guía para la Evaluación de Amenazas". Publicación Geológica Multinacional No. 4. ISSN 0717-3733. Impreso en Canadá, 404 p.

- Rico, A y Del Castillo H. (1974). "La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres". Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas. Vol. 1. Editorial Limusa S.A. México, 455 p.
- Salcedo, D. (1970). "Hacia una definición geotécnica de suelo y roca". Boletín N° 34, Sociedad Venezolana de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, pp. 32-39.
- Salcedo, D. (1973). "Notas sobre compactación de materiales granulares". Carta Técnica N° 15. Departamento Control de Calidad MOP, pp. 1-9.
- Salcedo, D. (1973). "Factores volumétricos: números pequeños de importancia grande". Carta Técnica N° 17, Departamento de Control de Calidad MOP. Caracas, pp. 1-8.
- Salcedo, D. (1978). "El uso de las proyecciones hemisféricas como técnica de predicción y análisis de problemas relativos a estabilidad de taludes en macizos rocosos". Universidad Central de Venezuela. Caracas, 78 p.
- Salcedo, D. (1982). "Problemática geotécnica de desarrollos urbanos en las colinas del área metropolitana de Caracas". Boletín N° 49, Sociedad Venezolana de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. pp. 47-56.
- Salcedo, D. (1983). "Consideraciones técnicas sobre estabilidad de taludes en las colinas del área metropolitana de Caracas". II Jornadas Geológicas Venezolanas. SVG-SVMSIF, pp. 66-91.
- Salcedo, D. (1983) "Proposición de requisitos mínimos de Estudios Geotécnicos. Ordenanza sobre procedimientos para tramitar permisos de construcción en el Concejo Municipal del Distrito Sucre. II Jornadas Geológicas Venezolanas SVG-SVMSIF. Caracas, pp. 93-96.
- Salcedo, D. (1983). "Macizos Rocosos: Caracterización, Resistencia al Corte y Mecanismos de Rotura". Memorias Conferencia 25 Aniversario de la Sociedad Venezolana de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Fundaciones. Noviembre. Caracas, pp. 143-215.
- Salcedo, D. (1988). "Geotecnia urbana y vial en Venezuela". Memorias X Seminario de Geotecnia. 30 años de experiencia en geotecnia. Caracas, pp. 73-92.

- Salcedo, D (1988). "Clasificación para predecir el tipo de remoción en banqueros y excavaciones para obras viales". Boletín Sociedad Venezolana de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Fundaciones, No. 56. Caracas, pp. 1-30.
- Salcedo, D. (1988). "Fundamentos para un programa nacional de reducción de riesgos por deslizamientos". Memorias Foro Conmemorativo del LXX Aniversario de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Caracas, 5 p.
- Salcedo, D. y Sancio, R. (1989) "Guía Simplificada para identificación y prevención de problemas geotécnicos en desarrollos urbanos". Publicación especial impresa por Lagoven S.A. Caracas, 29 p.
- Salcedo, D. (1990). "Aspectos relacionados con la caracterización geingenieril de rocas metamórficas". Memorias III Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. International Society for Rock Mechanics. Sociedad Venezolana de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Fundaciones. Caracas, pp. 19-62.
- Salcedo, D. (1991). "Efecto de las aguas negras: Un factor a considerar en la política de rehabilitación de barrios". Memorias Encuentro Internacional de Rehabilitación de Barrios del Tercer Mundo. UCV. Caracas,
- Salcedo, D. (1997). "Estructuras de contención como técnica de estabilización" (Keynote Lecture). Memorias II Symposium Panamericano de Deslizamientos. Río de Janeiro, pp. 1-86.
- Salcedo, D (2000). "Guía Geotécnica y Ambiental para Caminos Vecinales." Elaborada para la Secretaría de Estado de Obras Públicas y Comunicaciones (SEOPC). República Dominicana. Préstamo Banco Interamericano de Desarrollo No. 1112/0c-DR. Diez Capítulos: Introducción, Conceptos Básicos, Aspectos Ambientales, Taludes de Corte, Terraplenes, Bases y Sub-bases, Estructuras de Contención, Erosión y Obras de Control, Préstamos y Botaderos, Drenaje Vial.
- Salcedo, D. (2004). "Clasificación de masas rocosas con fines geotécnicos". Memorias XVIII Seminario Venezolano de Geotecnia. Geoinfraestructura: la geotecnia en el desarrollo nacional.

- Salcedo, D. y Ortas, J. (2009). “Deslizamientos en zonas de barrios: identificación y prevención de riesgos geotécnicos”. Ediciones Citeci. Caracas.
- Salcedo, D. y Ortas, J. (1995). Guía para la identificación y prevención de riesgos geotécnicos en zonas de barrios. Publicación auspiciada por la Alcaldía del Municipio Libertador del Distrito Federal. Caracas.
- Seed, H.B. (1966). “A modern approach to soil compaction”, Engineering, Construction, Maintenance, Magazine, pp. 77-93.
- Seed, H.; Mitchell, J. and Chan, C. (1960). “The strength of compacted cohesive soils”, Proceedings of the Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils. ASCE. University of Colorado. Boulder, Colorado, pp. 877-964.
- Terzaghi, K. (1943). “Theoretical Soil Mechanics”. John Wiley and Sons Inc. New Jersey.
- Terzaghi, K. and Peck, R. (1968). “Soil Mechanics in Engineering Practice”. John Wiley and Sons Inc. New Jersey, 729 p.

Índice de contenido

Presentación	p.	3
<i>Victor H. Cano P.</i>		
Caracterización y acondicionamiento del terreno	p.	5
1. Alcances de un estudio geotécnico.		
Clasificación y comportamiento de suelos y rocas	p.	6
Qué debe contener un estudio geotécnico	p.	6
Cómo se clasifican los suelos	p.	7
Clasificación de los suelos según su origen	p.	8
Suelos que pueden generar problemas en urbanismos	p.	10
Clasificación de las rocas según su origen	p.	12
Comportamiento de las masas rocosas como terreno de fundación de viviendas y según su estabilidad	p.	13
El concepto de rumbo y buzamiento	p.	13
Significado de las discontinuidades e importancia en su comportamiento	p.	14
Problemas que pueden generar ciertos tipos de rocas	p.	16
2. Taludes de corte	p.	18
Posibles efectos de un corte en una ladera	p.	18
Clasificación de los deslizamientos	p.	18
Identificación de deslizamientos en una zona	p.	21
Fallas más comunes de los taludes de corte en suelos	p.	22
Deslizamientos rotacionales	p.	22
Deslizamientos traslacionales	p.	23
Fallas más comunes de los taludes de corte en masas rocosas	p.	24
Deslizamientos planares	p.	24
Deslizamientos de cuña o cuneiformes	p.	25
Deslizamientos por volcamiento	p.	26
Impactos que pueden generar los taludes de corte	p.	27

3. Rellenos	p. 29
Necesidad de rellenos en algunos urbanismos y consideraciones generales a tomar en cuenta	p. 29
Importancia de las características del suelo donde se va a colocar el relleno	p. 29
Qué hacer si se encuentran suelos blandos donde se van a construir rellenos	p. 30
Problemas que puede generar la construcción de rellenos en ladera	p. 31
Para construir rellenos en laderas	p. 32
Medidas de drenaje para evitar el efecto de aguas subterráneas en el contacto entre el suelo en sitio y el relleno a construir	p. 33
Qué se entiende por compactación de suelos	p. 35
Ensayos de laboratorio para conocer las características de compactación de un suelo	p. 36
Verificación en campo de la compactación adecuada de un relleno	p. 37
Significado del grado de compactación	p. 37
Factores a tener presentes cuando se compactan suelos arcillosos y suelos granulares	p. 39
Factores volumétricos y su importancia en una obra de movimiento de tierras	p. 40
Equipos y métodos que se utilizan para compactación de suelos en campo	p. 41
4. Excavaciones para fundaciones	p. 43
Qué son las fundaciones de una vivienda	p. 43
Tipos de fundaciones	p. 43
Fundaciones superficiales para viviendas	p. 44
Aspectos constructivos de importancia cuando se realizan excavaciones para fundaciones superficiales	p. 46
Glosario de términos	p. 49
Referencias bibliográficas	p. 55

De este fascículo se imprimieron 1.000 ejemplares en Caracas (Venezuela), en los talleres de Editorial Arte S.A. en el mes de abril de 2014. Para su diagramación se usaron fuentes de la familia News Gothic Mt, Mekanik Bitmapped y Universal LTDtd.

**MINISTERIO DEL PODER POPULAR
PARA CIENCIA, TECNOLOGÍA
E INNOVACIÓN**

Manuel A. Fernández M.

Ministro

**FUNDACIÓN VENEZOLANA DE
INVESTIGACIONES SISMOLÓGICAS (FUNVISIS)**

Víctor H. Cano P.

Presidente

CONSEJO DIRECTIVO

Ministerio del Poder Popular
para Ciencia, Tecnología
e Innovación

Ministerio del Poder Popular
para la Educación Universitaria

Fondo Nacional de Ciencia,
Tecnología e Innovación

Dirección Nacional
de Protección Civil y
Administración de Desastres

DIRECTORIO

Aura E. Fernández

Directora Técnica

Manolo González P.

*Director de Administración
y Servicios*

Gloria González M.

*Directora de Planificación
y Presupuesto*

Elena Valera

Consultora Jurídica

Vivienda segura ante amenazas naturales

Colección

- Introducción a las amenazas naturales. Evaluación de la amenaza sísmica
André Singer
- Inundaciones fluviales y aludes torrenciales
José Luis López Sánchez
- **Caracterización y acondicionamiento del terreno**
Daniel Salcedo Rodríguez
- Vivienda de mampostería confinada con elementos de concreto armado
Angelo Marinilli
- Vivienda de mampostería confinada con perfiles de acero
Domingo Acosta
- Instalaciones para mampostería confinada
Nayib José Ablán J.
- Ciudad segura frente a desastres
Ketty C. Mendes A. Coautoras Sandra Ornés V., Marvey Gómez
- El riesgo de desastres: una construcción social
Ketty C. Mendes A.
- Normativa. Glosario de términos. Referencias bibliográficas



BIBLIOTECA POPULAR DE SISMOLOGÍA VENEZOLANA