



OBRAS DE TIERRA, DRENAJE Y EXPLANADA

• Por JOSE A. HINOJOSA

Este artículo tiene por objeto exponer un resumen esquemático de las contribuciones y aportaciones técnicas presentadas en el Congreso Mundial de Carreteras celebrado en Bruselas, sobre obras de tierra, drenaje y explanada y el ensayo de materiales en obras de carreteras. Se recoge, asimismo, una serie de conclusiones administrativas y técnicas que siguen planteando problemas singulares a numerosos países.

OBRAS DE TIERRA

Reconocimiento geotécnico

No hay importantes novedades desde el anterior Congreso (1983), pero sí un importante perfeccionamiento de las técnicas existentes, tanto en la tecnología como en la informatización de los datos de entrada y de los resultados obtenidos. Se echan en falta, no obstante, estudios de optimización de la amplitud de la campaña de reconocimiento, que es precisamente el punto destacado dentro del apartado 1.1 de los temas propuestos.

Se comprueba, en primer lugar, una importante tendencia al desarrollo de estudios de todo tipo a incluir en los proyectos de carreteras, a saber: estudios previos geológicos-geotécnicos del terreno, estudios geomorfológicos, estudios hidrogeológicos, así como programas optimizados de ensayos geotécnicos integrales, racionales y dinámicos basados en datos geológicos previos.

La limitación cada vez mayor de medios económicos para la realización de estos estudios lleva a la utilización de procedimientos más baratos. Entre éstos pueden citarse los métodos geofísicos y en particular, la refracción sísmica y la resistividad eléctrica (investigación de estructura del terreno, detección de cavidades subterráneas, etc.), el geo-radar (perfiles continuos de capas entre sondeos, determinación de interfaces bien contrastadas —zócalos, capas freáticas, obra de tierra sobre terreno blando—) y las técnicas de teledetección (muy útiles en grandes países con cartografía incompleta, las convencionales y muy perfeccionadas, las obtenidas a partir del satélite SPOT, con poder de resolución 10 m, y visión estereoscópica).

Se presenta además, en el rapport del Comité, con base en una encuesta realizada entre los países miembros y para los dife-

rentes métodos geofísicos existentes, sus posibles aplicaciones, objeto, resolución y precio relativos, fenómeno físico que se observa, interpretación, investigaciones recientes y recomendadas en un futuro y restricciones. Estos métodos se utilizan en mayor o menor grado en todos los países, obteniéndose datos de los mismos de diversa índole (Tabla 1).

Dentro del campo de los ensayos, tanto de laboratorio como «in situ», se han producido importantes avances, entre los que pueden citarse: el desarrollo del aparato MCA, mejorado para evaluar la aptitud de los suelos a la compactación y su control de puesta en obra; una mayor precisión en la utilización del presiómetro; el desarrollo de diferentes tipos de detectores de cavidades (Figura 1); utilización de un vibrocono para evaluar riesgos de licuefacción de suelos; utilización de un piezocono para medida de presiones intersticiales; empleo de aparatos transportables para medidas de conductividad por vía electromagnética, uso de fotografías en sondeos, y mejora de las técnicas de diagráfias y resistividad magneto-telúrica artificial.

Entre los avances más destacados de procedimientos y métodos merecen destacarse un acercamiento a los problemas de inestabilidad de macizos rocosos, un estudio sobre la determinación del dominio de reproducibilidad y repetibilidad de ensayos con resultados multidimensionales, utilización de correlaciones entre ensayos dinámicos y CBR en limos, y empleo de ensayos de fluencia con dilatómetro en sondeos para evaluar la convergencia de túneles.

Terraplenes

No existen importantes novedades en el desarrollo de los métodos actualmente existentes para dimensionar y construir terraplenes sobre suelos blandos o compresibles,

sino únicamente un refinamiento de los mismos.

El terreno de cimentación puede ser mejorado por los procedimientos habituales, entre los que se citan:

- Drenes verticales de arena o prefabricados sintéticos.
- Drenes de suelo-cemento o de suelo-cal (se comprueba un aumento de las características portantes para temperaturas elevadas, pudiendo realizarse su control con un nuevo aparato denominado iskymetro).
- Columnas de grava.
- Pilotes de hormigón de pequeño diámetro.
- Precarga.
- Compactación dinámica.
- Sustitución dinámica.
- Compactación por impacto.
- Carga compensada y purga previa.
- Utilización de bloques de poliestireno expandido recubiertos con capa de hormigón (su capacidad soporte se obtiene a partir del poder de flotación de los bloques bajo el nivel freático, que debe ser estabilizado mediante drenaje adecuado).
- Drenes de grava recubiertos de geotextil.

— Drenes de cloruro cálcico (se produce un incremento de la rigidez y resistencia al corte en capas no drenadas, aunque se debe prestar atención a posibles contaminaciones del entorno).

Otro aspecto importante es la realización de tramos de ensayo y consecuente investigación, para estudiar las posibles diferencias entre el comportamiento previsto y real del terraplén. Dos puntos deben considerarse aquí:

- La instrumentación y los métodos de control adecuados para diferentes tipos de soluciones (por ejemplo, distintos drenes).
- La utilización de materiales no tradicionales.

Finalmente, hay que dejar constancia del progreso realizado en los estudios teóricos y los métodos de cálculo cada vez más perfeccionados. Merecen destacarse los siguientes:

- Gráficos de asiento y fuerza portante de capas comprensibles en función del tiempo de consolidación.
- Gráficos de asiento de terrenos turbosos y fangosos en función del índice de huecos y de la carga.
- Especificaciones sobre geometría, estabilidad, asientos, materiales a utilizar y medidas de control.

El empleo de materiales convencionales en terraplenes será cada vez más difícil por un doble motivo: su escasez y, como consecuencia, su carestía. Por otra parte, es preciso eliminar desechos de todo tipo que plantean problemas de almacenaje y costes sociales importantes de problemas de medio ambiente. Es preciso indicar aquí que, en caso de utilización de estos materiales, no se consideran económicas distancias de

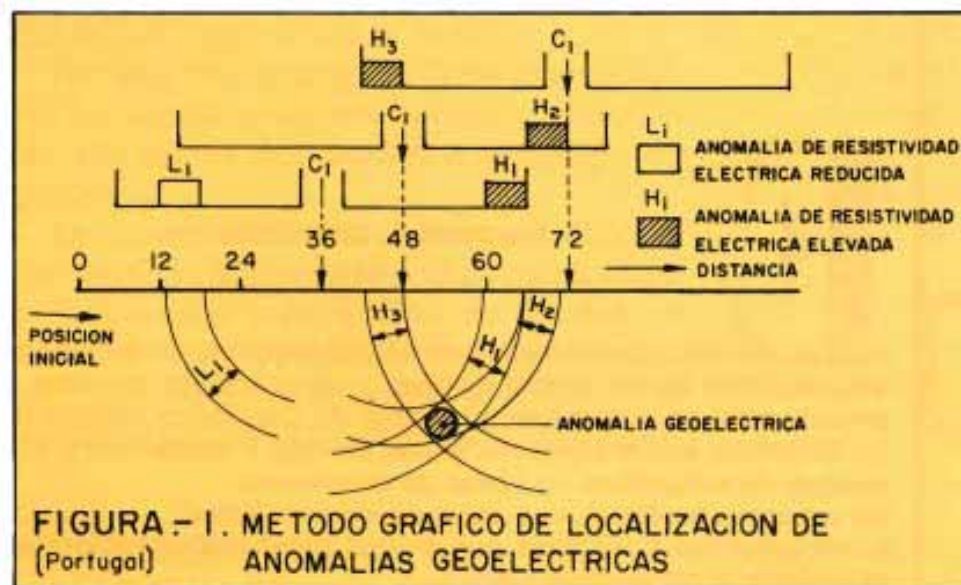


TABLA 1

Problema	Clase	Descripción, ejemplos	Métodos empleados	Resolución	Precio
Geología	Reconoci- miento general	Determinar el medio ambiente sedimentario especial- mente importante en lo que concierne a la previsión de la calidad de los materiales; determinar la delimita- ción entre la roca y el sedimento; determinar fisuras; determinar la presencia de canales y llanuras colma- tadas; determinar las superficies antiguas de erosión que quizá estén compactadas. En general, informes cualitativos sobre la naturaleza, variabilidad y extensión de materiales a dragar.	Refracción sísmica	***	OOO
			Resistividad eléctrica (CC)	**	OO
			Resistividad eléctrica (EM)	*	O
			Reflexión sísmica	****	OOOO
Materiales	Arena y grava	Dragado de arena, excavación de grava, zanja	Resistividad eléctrica (CC y EM)	* (*) (*)	OO (O)
	Roca	Piedra, roca, cantera	Refracción sísmica	***	OO
	Arcilla	Sedimentos arcillosos	Resistividad eléctrica (CC y EM)	**	OO
			Polarización inducida	*** (A)	O(A)
			Reflexión sísmica	****	OOOO
Propiedades	Módulos de elasti- cidad	Problemas dinámicos, licuefacción	Refracción sísmica	****	OOO
		Mecánica de rocas, juntas, escollera	Ondas P y S		
	Densidad, porosidad	Densidad, poder de dragado	Resistividad eléctrica (CC y EM)	***	O(O)
			Refracción sísmica	* (*)	OOO

LEYENDA: A = solamente como suplemento de otros métodos
 * = baja
 **** = alta
 O = bas
 OOOO = alto
 } solamente relativo

transporte superiores a 10 km., estando el óptimo en torno a los 5 km.

Bajo el nombre de *materiales no tradicionales* (también denominados marginales) se incluyen un gran número de productos, algunos bien conocidos y con utilización ya establecida y otros totalmente nuevos.

Como norma general, es preciso indicar la tendencia mundial a utilizar en terraplenes los materiales locales existentes, que en algunos casos son materiales de baja calidad (evolutivos) y en otros son materiales de desecho o ligeros por necesidades de cimentación.

Entre los materiales del primer grupo se mencionan, entre otros, los siguientes:

- Fango consolidado (mundstone).
- Phosphogypse con cemento, cal y cenizas volantes.
- Formaciones yesoferrosas (el uso del yeso está limitado por la posibilidad de disolución que puede ser evitada mediante capas impermeables y drenaje).
- Esquistos.
- Esquistos de minas de potasa.
- Margas.
- Areniscas.

- Conglomerados (tufts).
- Suelos volcánicos poco cementados.
- Arcillas laminadas.
- Piedra pómez.
- Escorias volcánicas.
- Creta.
- Limos (general, portuarios).

Entre los materiales de desecho han sido utilizados con mayor o menor profusión:

- Cenizas de fabricación de cemento [(para terraplén y estructura de firme) CBR=100%; y $\gamma_{\text{max}}=1,05 \text{ g/cm}^3$; $W_{\text{Oct}}=50\%$].
- Cenizas volantes sílico-aluminosas (se

controlan las características de compactación óptima, utilizando el «optcompact», cuyos resultados se correlacionan bien con el Proctor Modificado) (Figura 2).

— Cenizas volantes (para evitar contaminación se pueden tratar con cemento, o de no hacerlo, recubrirlas de una capa impermeable).

— Cenizas volantes húmedas.

— Estériles de carbón (se comportan como gravas arenosas frágiles durante la compactación).

— Esquistos hulleros negros (no quemados).

— Desechos de canteras.

— Escorias de incineración de basuras.

— Esquistos hulleros rojos (no quemados).

— Escorias de alto horno.

— Materiales procedentes de dragado.

— Desechos de $SO_4 Ca$.

— Desechos de voladuras.

— Basuras tratadas.

— Productos de demolición.



Se utilizan como materiales ligeros para constituir terraplenes, lo que resuelve el problema de apoyo sobre terrenos blandos, entre otros, los siguientes:

— Arcilla expandida (se realizan ensayos de carga con placa modificados y ensayos triaxiales para comprobación de resultados).

— Neumáticos de coche (Figura 3).

— Materiales que incluyen elementos con estructura en nido de abeja (Figura 4).

— Bloques de poliestireno expandido.

— Serrín de madera (si se mantiene la humedad no se degrada, es fácil de compactar y presenta buena resistencia al corte).

— Arcilla previamente quemada de minas de carbón.

Es preciso tener en cuenta algunas recomendaciones cuando se utilizan estos materiales:

— Considerar en el análisis coste/beneficio los posibles problemas a producir en el entorno.

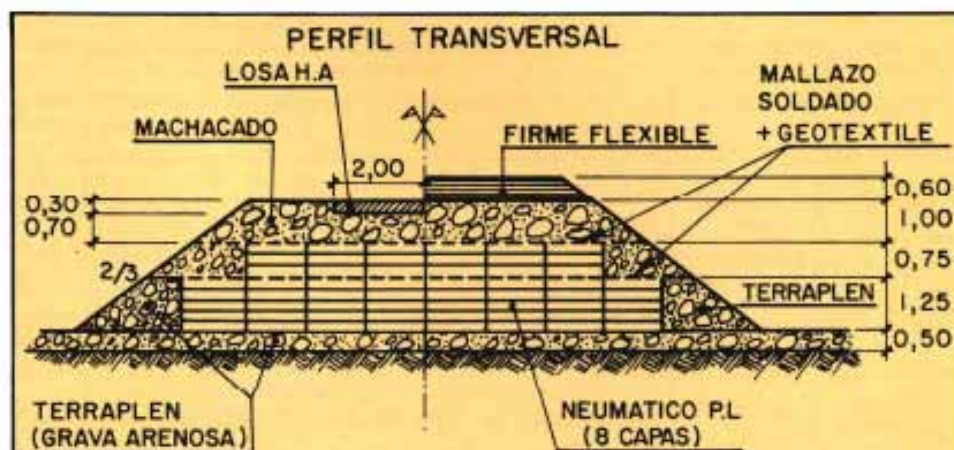


FIGURA- 3. REUTILIZACION DE NEUMATICOS USADOS EN TERRAPLENES ALIGERADOS

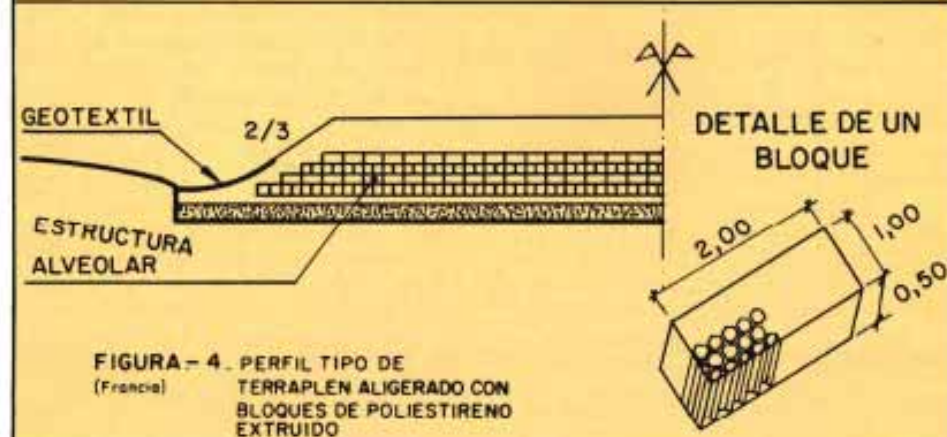
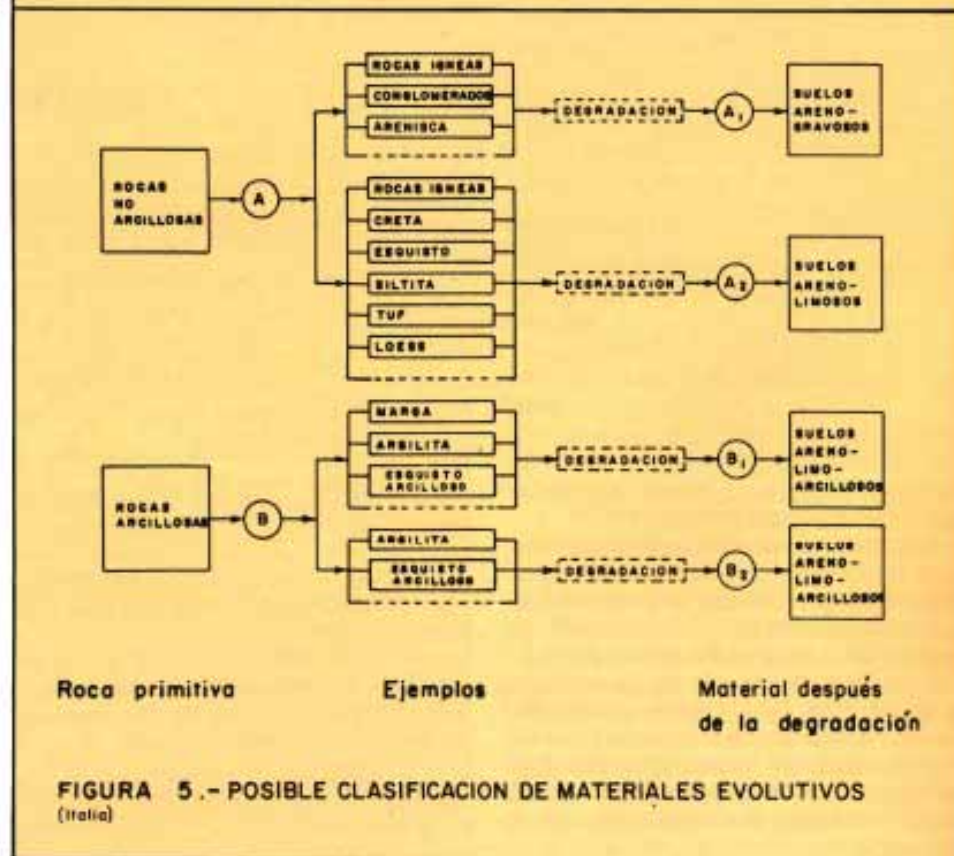


FIGURA- 4. PERFIL TIPO DE TERRAPLEN ALIGERADO CON BLOQUES DE POLIESTIRENO EXTRUIDO



Roca primitiva

Ejemplos

Material después de la degradación

FIGURA 5.- POSIBLE CLASIFICACION DE MATERIALES EVOLUTIVOS

— Realizar una vigilancia intensa durante la construcción [control de calidad de todas las zonas (por ejemplo, isótopos), caracterización de parámetros geotécnicos (por ejemplo, triaxiales y placa de carga), instrumentación, modelos de cálculo de comportamiento, etc.].

— Utilizar criterios de dimensionamiento para materiales locales (por ejemplo, MCA para determinación de la humedad y fijación de criterios rápidos y precisos sobre compactabilidad).

— Clasificar los materiales y definir sus condiciones de empleo en función de sus características físicas y químicas y el riesgo de contaminación ambiental.

— Establecer, en su caso, el grado de evolutividad de los materiales.

— Proteger con una capa el terraplén, hasta que se construya la estructura del firme, si el material es muy alterable.

— Estudiar, en el caso de escorias y estériles de carbón, el riesgo de autocombustión.



Con base en los resultados de una encuesta realizada entre los países miembros y en realizaciones obtenidas de la literatura técnica, se presenta en el rapport del Comité una clasificación tentativa de los materiales evolutivos (Figura 5), además de exponer las posibles causas de su degradación (rocas evolutivas importantes: creta, tuf, loess, esquistos, margas) (Tabla 2) y el concepto de material evolutivo en los diferentes países (Tabla 3). Se expone su posible utilización en terraplenes, los problemas que pueden surgir durante el desarrollo de los trabajos, posibles recomendaciones, especificaciones y ensayos, así como medidas de conservación y vigilancia para incrementar su durabilidad.

Sería deseable, dentro de este campo, llevar a cabo un intercambio de información respecto al empleo de estos materiales, que pudiera dar lugar en un futuro próximo a

TABLA 2
CAUSAS DE DEGRADACION

Material	País	Causas de degradación
Granito	AUS, R.U., ITA, POR	Acción del clima, rotura física de los feldespatos.
Dolerita	POR	Acción del clima.
Basalto	AUS, POR	Acción del clima, degradación mineral secundaria.
Gabro	POR	Acción del clima.
Serpentina	JAP	Acción del clima.
Dolomía	BEL, CHE	Acción del clima, ciclos hielo/deshielo, disolución en el agua, fragilidad.
Creta	BEL, R.U., FRA, JAP, POR, URS	Acción del clima, uniones frágiles, disolución en el agua, fragilidad, ciclos hielo/deshielo.
Yeso	BEL, POR, ESP, URS	Alteración química, disolución en el agua, uniones frágiles, ciclos hielo/deshielo, fragilidad.
Esquisto	R.U., FRA, ITA, POR, ESP, CHE, URS	Presencia de materiales arcillosos, ciclos hielo/deshielo, ciclos humedad/sequedad, disolución en el agua, fragilidad.
Arenisca	R.U., FRA, ITA, POR, ESP, CHE	Sedimentación con presencia de arcilla, ciclos humedad/sequedad, fragilidad.
Conglomerados	R.U., FRA, ITA, POR, CHE	Sedimentación con presencia de arcilla, ciclos humedad/sequedad, fragilidad.
Marga	BEL, R.U., FRA, ITA, POR, ESP, CHE, URS	Presencia de materiales arcillosos, alteración química, uniones frágiles, ciclos hielo/deshielo, ciclos humedad/sequedad, fragilidad, disolución en el agua, sensibilidad al agua.
Roca arcillosa	AUS, R.U., FRA, ITA, POR, ESP, CHE, URS	Presencia de materiales arcillosos, uniones frágiles, ciclos hielo/deshielo, humedad/sequedad, sensibilidad al agua.
Tuf y ceniza volcánica	ITA, JAP, POR	Presencia de materiales inestables, sensibilidad al agua, ciclos hielo/deshielo, uniones frágiles.
Loess	FRA, URS	Uniones frágiles, ciclos hielo/deshielo, sensibilidad al agua.
Arcilla	R.U., ITA, URS	Presencia de materiales arcillosos, ciclos hielo/deshielo, ciclos humedad/sequedad, uniones frágiles.
Limo	R.U., URS	Uniones frágiles, ciclos hielo/deshielo.

TABLA 3
DEFINICION DE MATERIALES EVOLUTIVOS

País	Definición
AUS	Materiales cuyos componentes son susceptibles de desagregarse a causa de agresiones del clima y/o la descomposición de los materiales acelerada por el proceso de construcción, el tráfico o el medio ambiente.
BEL	Materiales cuyas propiedades experimentan bajo agresiones externas o internas una evolución irreversible durante un período comparable en duración a la de una vida humana.
R.U.	Materiales susceptibles de evolucionar bajo agresiones climáticas.
FRA	Materiales cuyas propiedades y comportamiento son sensiblemente modificados durante la extracción, la puesta en obra y/o la duración de las obras.
ITA	Rocas y suelos débilmente coherentes.
JAP	Rocas blandas fácilmente alteradas por las agresiones climáticas con duración de vida limitada y cenizas volcánicas.
POR	Materiales que sufren alteración de sus propiedades geotécnicas durante el período de trabajos.
ESP	Materiales susceptibles de una gran alteración durante y después de la puesta en obra.
CHE	Materiales cuyas propiedades son modificadas después de la extracción.

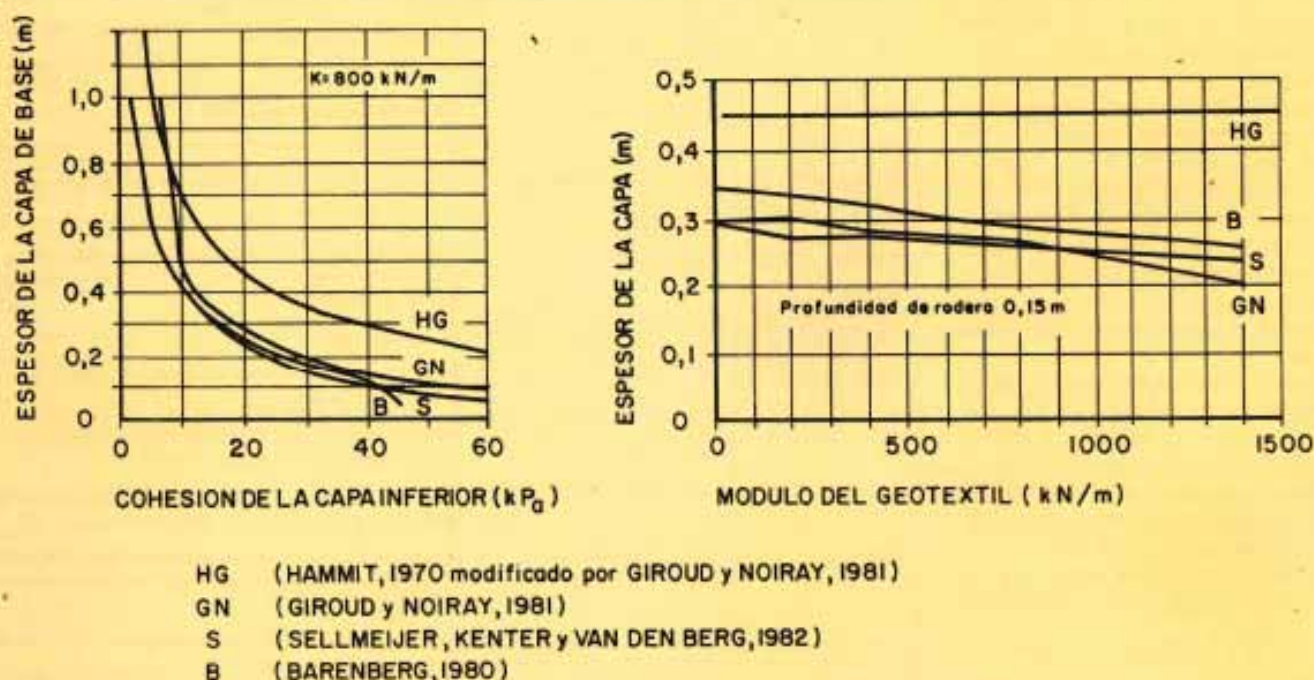


FIGURA - 6. COMPARACION DE DIFERENTES TEORIAS DE REFUERZO (HAUSMANN, 1986)
(Español)

unas especificaciones de ámbito internacional, evidentemente adaptables a las características de los materiales de cada país.

En el momento actual se tiene un mejor conocimiento de los posibles fenómenos que tienen una influencia negativa en la estabilización de suelos mediante ligantes hidráulicos. Merece destacarse en este aspecto y se debe prestar especial atención al efecto destructor de las piritas que, circunstancialmente, pueden estar contenidas en los suelos incluso en proporción inferior al 1%, cuando se estabiliza éste con ligantes hidráulicos y en particular con cal viva (está a punto de nacer un ensayo simple para determinar rápidamente el contenido de pirita de un suelo).

Entre las técnicas de mejora y estabilización se citan, además del empleo de cal viva para estabilizar «in situ» cimientos de terraplenes ($e=250 \text{ mm.}$), el uso de formaldehído de urea en arena seca y el de polibutadieno en suelos limosos con humedades mayores del 20%, así como el empleo de soluciones mixtas con estructuras multisandwich a base de capas de material plástico no tratado, capas de material tratado con cal viva y capas permeables.

Aunque sería deseable la existencia de una normativa internacional que racionalice el empleo de los geotextiles en carreteras, sólo hay en la actualidad una tendencia creciente en la publicación de reglamentos, recomendaciones, especificaciones y normas de ensayo. Merece la pena destacar las normas de descripción y ensayos AFNOR, las numerosas publicaciones del CFGG, el ma-

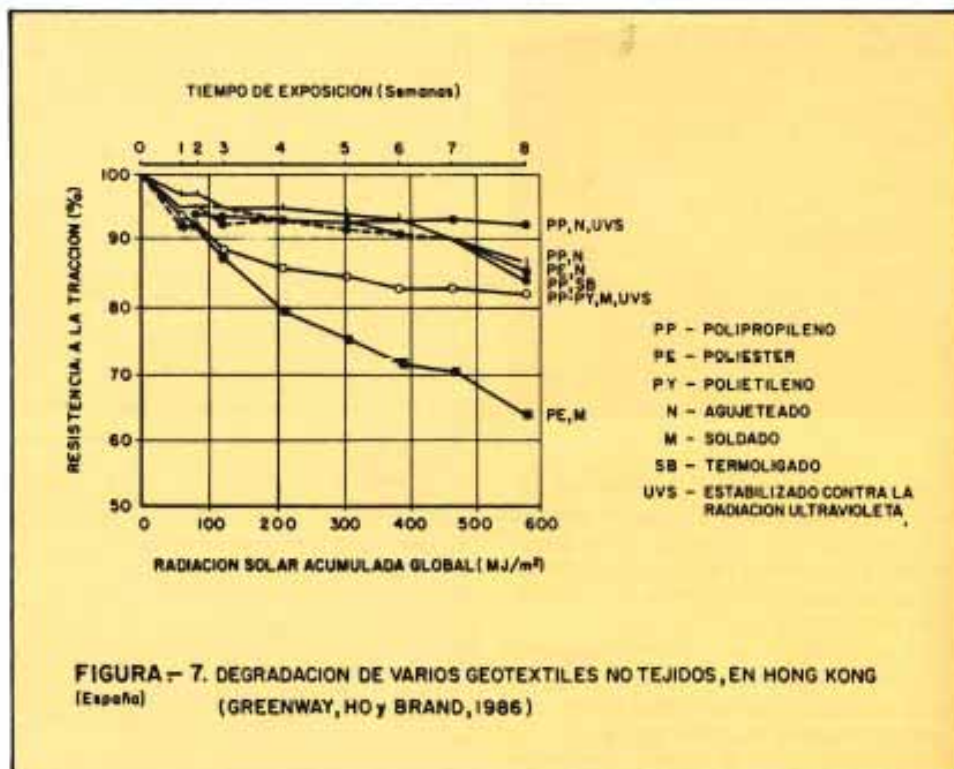


FIGURA - 7. DEGRADACION DE VARIOS GEOTEXTILES NO TEJIDOS, EN HONG KONG
(Español) (GREENWAY, HO y BRAND, 1986)

nual de geotextiles suizo y las especificaciones belgas.

Las aplicaciones más usuales que se mencionan son numerosas:

- Incremento de la estabilidad de terraplenes.
- Reparación de taludes después de roturas.
- Refuerzo de muros de sostenimiento.

— Separación entre terraplén y terreno natural.

— Cimentación de terraplenes sobre suelos compresibles.

— Aceleración de la consolidación del terreno durante la construcción de terraplenes de suelos arcillosos.

— Drenaje.

- Protección de taludes contra la erosión del agua de lluvia y el viento.
- Protección de la explanada.

Se describen en particular ensayos de resistencia a tracción (recomendándose dimensiones y velocidad de 50 mm/min.), de resistencia al desgarro y de resistencia al punzonamiento que, junto al peso, porosimetría y permeabilidad suelo/geotextil, son los aspectos más controlados.

También se estudian en el rapport del Comité con detalle algunos aspectos concretos como son su concepción (criterios de retención y permeabilidad, estimación de la resistencia del geotextil como separador y curvas de dimensionamiento como refuerzo) y la durabilidad, especialmente lo referente a radiaciones ultravioletas, hidrólisis y colmatación (Figuras 6 y 7).

No obstante lo indicado anteriormente, se deben proseguir las investigaciones respecto a los estudios de durabilidad y fluencia y los métodos de dimensionamiento.

El refuerzo de suelos es una técnica en fuerte progresión, merced a las investigaciones realizadas sobre durabilidad, nuevos métodos de dimensionamiento y avances en los procedimientos de puesta en obra.

Las posibles utilizaciones de capas, armaduras y fibras fabricadas en materiales extensibles (tejidos, no tejidos, geomallas, geoceldas) e inextensibles (armaduras) se extienden desde reforzar terrapienes, con posibilidad de diseñar taludes más escarpados y evitar riesgos de fisuración en zonas de coronación hasta utilizarlos en muros de tierra armada (se presenta procedimiento de cálculo, basado en el método de equilibrio límite con una espiral logarítmica como línea de rotura).

Se han efectuado progresos importantes en el conocimiento del comportamiento a largo plazo de los productos utilizados en el suelo (envejecimiento, fluencia) y en la puesta a punto de métodos de dimensionamiento («método de los desplazamientos» que evalúa la estabilidad interna de estructuras de suelo armado teniendo en cuenta su deformabilidad y método de evaluación de esfuerzos de tracción del conjunto suelo-geotextil) y métodos de puesta en obra.

Es evidente el avance en la resolución de problemas concretos, como son la reparación de deslizamientos, el ensanche de carreteras de montaña, ensanche de terrapienes y mejora de la capacidad soporte en terrenos blandos, entre otros.

La realización del ensanche de terrapienes requiere una atención especial en diversos puntos:

- Drenaje cuidadoso de la interfase (utilización ventajosa de geotextiles).
- Grado de compactación análogo entre las partes antigua y nueva (se evitan así hundimientos, agrietamientos, entradas de agua, etc.).
- Encastrado de ambas partes en una longitud no inferior a 1 m.

Para lograr lo anterior se deberá prever la humedad de equilibrio del material del terraplén y conocer lo mejor posible, en caso de rotura, el fenómeno real producido, para lo que se deberá averiguar la oscilación del N. F., las propiedades del terreno y sus deformaciones.

Entre los métodos de reparación se citan, entre otros, los siguientes:

- Suavización de taludes.
- Reemplazamiento de masas inestables.
- Ejecución de contrafuertes y zanjas rellenas de piedra para drenaje.
- Construcción de obras de sostenimiento.
- Utilización de geotextiles.
- Macizos de tierra armada.

Es digno de destacar el estudio experimental realizado para comparar costes entre distintos procedimientos utilizables de refuerzo y reparación de terrapienes que, or-

denados de menor a mayor, son los siguientes: contrafuertes de grava, revestimiento del talud con geotextil anclado, refuerzo del núcleo con geotextiles, estabilización con cal, muro con neumáticos anclado, sustitución de material de terraplén por material granular, gabiones.

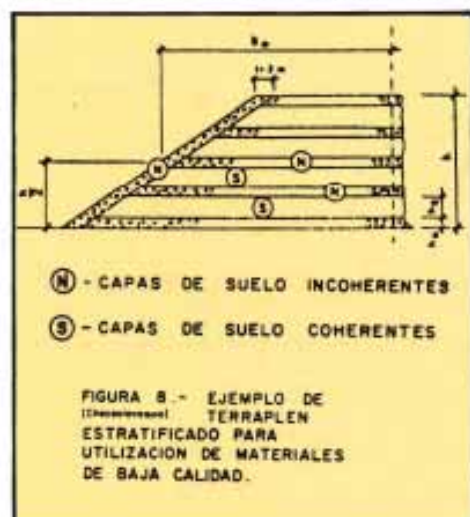
Las variaciones en la humedad de un terraplén (estacionarias —en regiones con estaciones seca y húmeda muy contrastadas— o provocadas) producen ciclos de hinchamiento-retracción que dan lugar, en el caso de terrenos arcillosos, a deformaciones irreversibles con pérdida de características mecánicas y evidentes repercusiones en el comportamiento de calzadas y taludes.

Diversas disposiciones constructivas para prevenir estos desórdenes han sido utilizadas: índice de compactación variable con la altura del terraplén, tratamientos con cal de taludes, refuerzo mediante geotextiles, disposición de capas drenantes entre capas de suelo muy húmedas unidas o no entre sí por drenes de arena verticales (Figura 8), recompatación, etc.

Entre los procedimientos de investigación puestos a punto, es preciso mencionar los siguientes:

- Métodos de medida «in situ» de forma precisa, cómoda y no destructiva de la humedad de los suelos, basados en la medida de la velocidad de propagación de impulsiones electromagnéticas y en radioisótopos.

- Método de elementos finitos para estimar las velocidades de reducción de presiones intersticiales en el interior de un terraplén arcilloso saturado con y sin capas drenantes intercaladas, que permite dimensionarlo en función de los parámetros de la consolidación.



Obra de explanación en la autovía de Aranjuez.



FIGURA - 9. MURO DE SOSTENIMIENTO CON BLOQUES MOLDEADOS DE HORMIGÓN

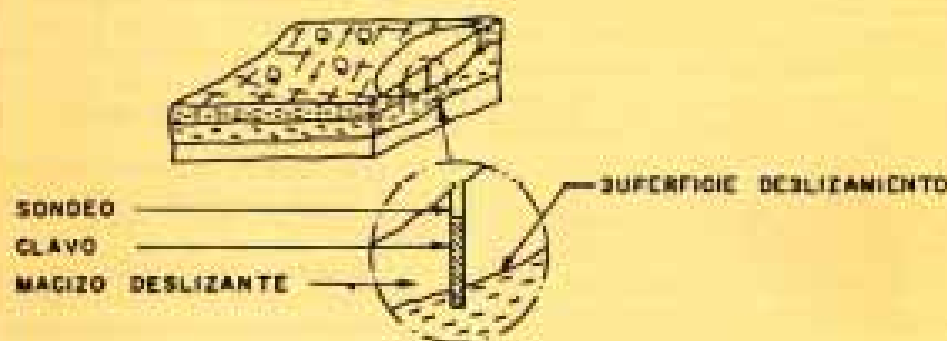


FIGURA 10.- PRINCIPIO DEL CLAVADO DE LADERAS INESTABLES (R.F.A.)

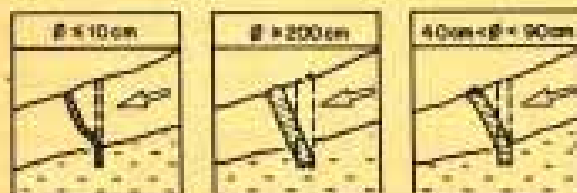


FIGURA - 11. COMPORTAMIENTO DE LOS CLAVOS EN FUNCIÓN DE SU DIÁMETRO. (R.F.A.)

No obstante lo anterior, es deseable proseguir el análisis de los fenómenos de variación de humedad en terraplenes, optimizando disposiciones constructivas que permitan anular los efectos de las variaciones climáticas.

No hay aportaciones importantes en lo referente a la consideración de la sismicidad, si se exceptúa el refuerzo de suelos con hilos sintéticos continuos en estructuras de tierra para soportar adecuadamente licuefacción y deformaciones (se expone método de cálculo).

Desmontes

En las regiones en las que existen formaciones geológicas inestables, se debe en

general considerar la estabilidad de taludes y laderas naturales de zonas más amplias que las del proyecto de carreteras propiamente dicho, debiendo ser detallada y cuidada la parte correspondiente a obras de tierra, ya que hoy día los desmontes son cada vez más altos e inclinados.

Una encuesta realizada entre los países miembros, expuesta en el rapport del Comité, ha permitido conocer cuáles son los factores que son tenidos en cuenta habitualmente en la concepción de los taludes de desmonte, las pendientes, los principales procedimientos de protección, las causas más frecuentes de ruptura (Tabla 3) y las medidas preventivas y de conservación más utilizadas.

A continuación se exponen una serie de hechos o técnicas comprobados, que po-

nen de manifiesto, al menos en parte, el estado actual de la técnica en este punto.

- La relajación de tensiones después de excavar un desmonte produce rotura y desgarros.
- Existe una relación clara entre precipitaciones y oscilaciones de N. F. e inestabilidades en pendientes en terrenos sedimentarios y residuales.
- La erosión por corrientes de agua de piso de lodero, produce importantes movimientos del terreno, con la colaboración de las precipitaciones (medidas de corrección: refuerzo de pie y drenaje).
- Existen claras ventajas estabilizando pendientes con suelo vegetal y plantaciones.
- La utilización de filtros de césped prefabricado, con abono y refuerzo de PVC, ha dado resultados positivos.
- La excavación de desmontes al pie de deslizamientos locales en ladera provoca respuestas imprevistas.
- Son beneficiosos los procedimientos tendientes a drenar en profundidad laderas mediante pozos de pequeño diámetro (ejecutados con maquinaria de pilotes de gran diámetro) y drenes subhorizontales conectados con ellos.

Entre las técnicas constructivas más innovadoras se encuentran las siguientes:

- Refuerzo de desmontes en roca, mediante introducción de barras de acero.
- Utilización de tuberías de acero de gran diámetro, a modo de túnel artificial, para evitar problemas de avalanchas de nieve.
- Utilización de muros de sostenimiento de bloques de hormigón con refuerzo de geotextiles (Figura 9).
- Utilización de protecciones superficiales de suelo-cemento u hormigón proyectado.
- Utilización del clavado (pilotes de hormigón armado de diámetro entre 10 y 200 cm.) para estabilizar laderas sometidas a fenómenos de fluencia o deslizamiento; las reacciones a las fuerzas de corte transmitidas por el suelo y el mecanismo de rotura varían según el diámetro del pilote, las propiedades del terreno y el espesor de la capa deslizada, existen criterios de dimensionamiento, contrastados con experimentación «in situ» (Figuras 10 y 11).

Las investigaciones llevadas a cabo se concretan en los siguientes puntos:

- Estabilización de laderas mediante refuerzos con hilos sintéticos continuos e inclusiones.
- Reducción de inestabilidades inducidas por el empleo de explosivos.
- Análisis de los efectos de voladuras en laderas mediante instrumentación geotécnica.
- Análisis de estabilidad de desmontes teniendo en cuenta el estado real de tensiones.

TABLA 4
CAUSA DE ROTURA DE TALUDES

	Clima			e) Caída de lluvia o nieve	Causas de la rotura del talud				Otras (especificar)
	Temperatura media anual (°C)	Precipitación media anual acumulada	Intensidad máxima de lluvia (mm/h.)		b) Repetición de hielo y deshielo	c) Alteración o erosión	d) Tensiones de tierra	e) Avalancha	
Australia (Australia del Sur)	22 (-18/+)	250 mm.	152	B		A			B Infiltración
Eslova	20 (7)	300		A	B	B	C	C	
Rumania	10 (-30/+)	580		A	B	B	C	C	C Repetición de hinchamiento y retracción
República Federal de Alemania	9 (-10)	795		A	B	B			
Bélgica	9 (-20)	750	72 (máxima para la construcción)	B (Poco) (Suelo)	B	A			A Alteración hidráulica
Portugal	15-18 (-8)	700-800	100	A		B	B		
Reino Unido	11 (0)	1080	24	A	B	B			
Italia	14 (-16)	1.200	70 (continua durante 8 h.)	A	C	B	C	C	B Deslizamiento lento
Japón (Tokyo)	9-10 (-41)	1.050	107	A	B	B	C	C	
India (Madrás)			550	A		B	B	C	B
Checoslovaquia	5-10 (-42)	450-1.500	345 (máxima h.)	A	B	B			
URSS (Caucaso)	10-9 (-35)	400	276	A	A	A	B	B	

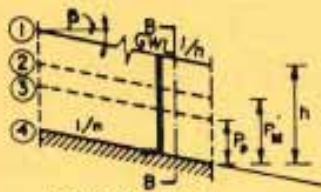
e: la temperatura más baja

A: Rango alto

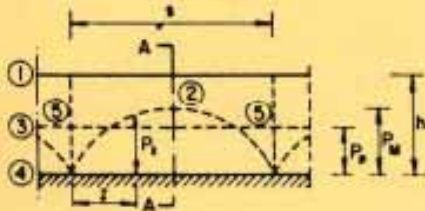
B: Rango medio

C: Rango bajo

SECCION A-A



SECCION B-B



- ① NIVEL FREATICO A DISTANCIA h DEL FONDO DEL DREN
- ② NIVEL PIEZOMETRICO MAXIMO ENTRE DRENES P_M
- ③ NIVEL PIEZOMETRICO MEDIO P_P
- ④ FONDO DEL DREN Y SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO
- ⑤ PLANO DEL DREN

S - ESPACIAMIENTO ENTRE DRENES

 P_M - NIVEL PIEZOMETRICO A DISTANCIA z DEL FONDO DEL DREN β - ANGULO DE INCLINACION DE LA LADERA

FIGURA - 12. SECCION CARACTERISTICA DE LADERA CON ZANJAS DRENANTES (Yugoslavia)

— Estudio de la influencia de las zanjas drenantes sobre las presiones intersticiales (Figura 12).

— Obstrucción química de filtros.

Se debe proseguir investigando sobre verificación de estabilidad de taludes rocosos y mejora de los métodos de previsión de caídas, determinando los niveles críticos de los principales factores que intervienen: precipitaciones, acción sísmica y erosión.

La toma en consideración del medio ambiente durante los trabajos de excavación se pone de manifiesto en diferentes aspectos:

— Tomando medidas para evitar vibraciones causadas por equipos pesados o por voladuras para excavación en la proximidad de edificios, sobre todo en zonas urbanas.

— Observando la capa freática en los trabajos de excavación y, en su caso, llevando a cabo una realimentación que evite po-

ner en peligro construcciones o vegetación.

Las principales investigaciones en este punto se refieren a:

— Estudio del comportamiento dinámico de masas de roca

— Medida, control y supervisión de vibraciones, mediante análisis de su composición espectral, lo que permitirá definir tolerancias y una utilización más eficaz de los explosivos, obteniéndose una mayor seguridad en estructuras vecinas.

Una vez tomada conciencia de la necesidad de considerar los efectos sísmicos en los países de elevado riesgo, se han puesto a punto procedimientos diversos. Merece citarse aquí un método de evolución de hundimientos de taludes naturales y desmontes, basado en la estimación de resistencia al efecto sísmico, cuantificando el grado de peligrosidad según 13 factores.

Existen reglamentaciones de diseño y construcción para trabajos variados, así como programas de análisis de estabilidad de taludes de desmonte heterogéneos, que tienen en cuenta las acciones sísmicas con superficie de deslizamiento cualquiera y representación de la acción sísmica por fuerzas máximas horizontales del tipo $\beta \cdot W$ o mediante componentes vertical y horizontal de la aceleración sísmica aplicada a una superficie cilíndrica vertical.

Ejecución

Entre las nuevas técnicas de construcción y control es preciso destacar las siguientes:

— Utilización de indicadores de compactación.

— Detección de zonas de baja compactación mediante uso de rodillos ligeros.

— Utilización de equipos láser para control de movimientos de hoja de niveladora, en particular, y de maquinaria de obras de tierra, en general, así como de la automatización de las operaciones de excavación.

— Puesta en práctica de sistemas de control de camiones basculantes (matrículas, pesos, tiempos de recorrido, etc.).

— Empleo de sistemas automáticos de control de compactación mediante rodillos y de su uniformidad.

— Desarrollo y uso de técnicas electrónicas avanzadas para la recogida y análisis de datos en sistemas de control de trabajos de construcción.

En el aspecto de ejecución de desmontes en terreno difícil, es preciso señalar como más significativo:

— La problemática que presentan los efectos de voladuras y vibraciones producidas por ellos y otras causas en regiones urbanas, que conduce a utilizar agentes no explosivos y silenciosos.

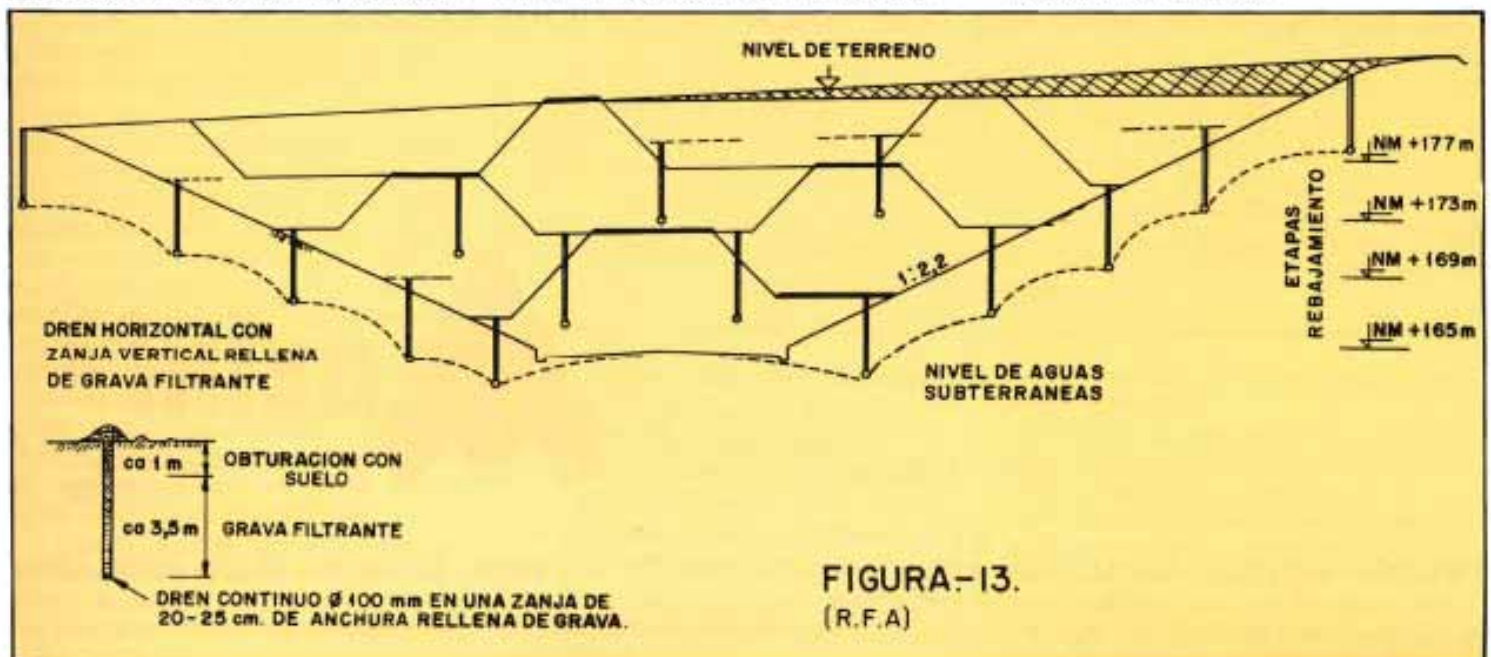


FIGURA - 13.
(R.F.A)

— El método de voladura, basado en el encendido intermitente en taladros cortos y largos (microrretardo alternado), ligado con una combinación adecuada de las fases de voladura.

— La utilización del dispositivo de orientación de perforación (DOP) como base de un método de voladura con precorte y colocación adecuada de cargas explosivas.

Un método original para rebajar el nivel freático, durante la construcción de un desmonte de importantes dimensiones en arcilla limosa, se representa en la figura 13, siendo la capacidad de infiltración cuatro veces mayor que la obtenida por pozos de bombeo.

Respecto a la compactación propiamente dicha, hay interesantes aportaciones:

— En base a observaciones realizadas durante muchos años, hay países que concluyen que los terraplenes deben ser contruidos en general con densidades y humedades óptimas.

— Se debe utilizar el análisis estadístico para definir criterios de aceptación o rechazo.

— Se realiza el control de compactación mediante aparatos de registro instalados en rodillos vibrantes (existen estudios técnicos interesantes), pero por no ser actualmente una técnica suficientemente fiable, sólo se utiliza en algunos países para detectar zonas blandas.

— El uso de la técnica «sandwich», en el caso de suelos húmedos, es ejecutada con éxito en varios países.

— Aunque hay importantes progresos en la investigación de compactación de materiales en seco (más energía que en condiciones óptimas), hay países que se muestran partidarios y en otros no va bien.

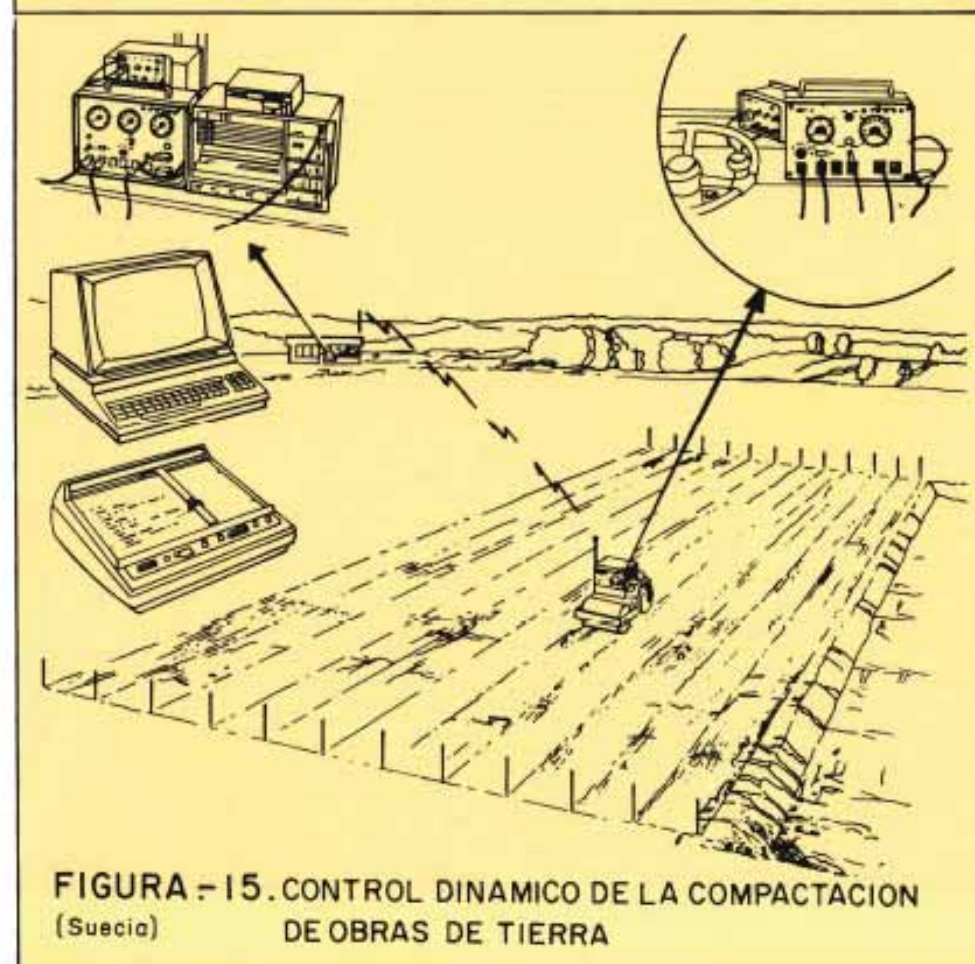
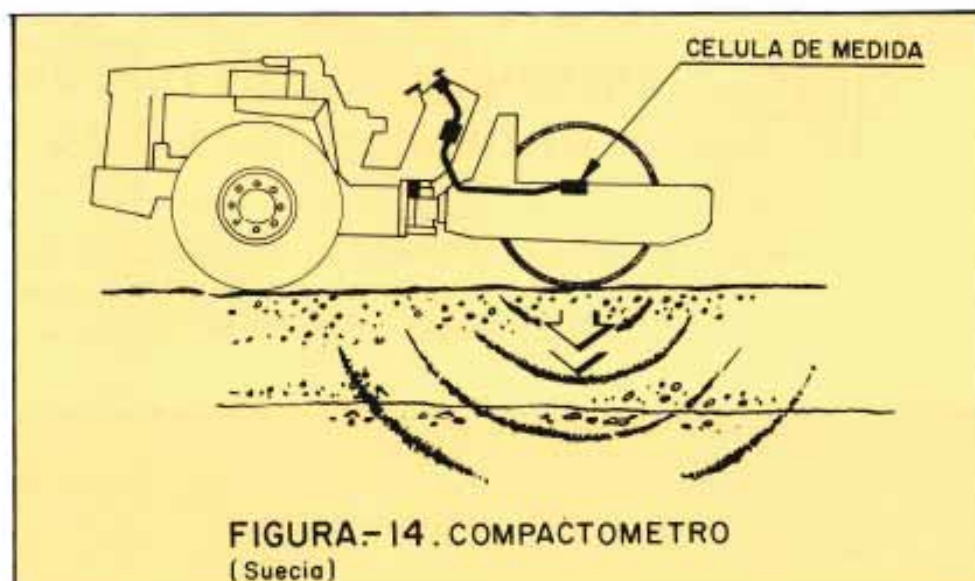
— El uso de rodillos de gran potencia hace que la máxima compactación se produzca no en superficie (tendencia a aflojarse), sino a cierta profundidad, recomendándose para evitarlo utilizar rodillos estáticos o vibratorios más pequeños en los niveles superiores.

Los recientes desarrollos en la compactación y en su control continuo se exponen en el rapport del Comité, en el que, como resultado de una encuesta realizada, se detallan los avances realizados sobre tipos de rodillos, equipamiento —oscilómetros, compactómetros (Figura 14), indicadores de compactación integrados en el rodillo y tacógrafos—, poniéndose de manifiesto los aspectos más significativos sobre el control dinámico y continuo (Figura 15).

Hay numerosas especificaciones, medidas y casos concretos expuestos, siendo dignos de destacar los siguientes:

— Especificaciones para la compactación de materiales gruesos en base al uso rutinario de rodillos.

— Distancias límites de aproximación de rodillos a edificios.



— La determinación de la densidad «in situ» se realiza con:

- Martillo de impacto Clegg.
- Compactómetro instalado en rodillos.
- Viga Benkelman.

— El control de compactación se lleva a cabo mediante:

- Sonda doble de rayos gamma para medida de densidad húmeda a 5-10 m, de profundidad.

• Penetrómetro dinámico ligero (arenas finas y uniformes).

• Sonda de rayos gamma y neutrones para medida de densidad húmeda en exterior e interior de un sondeo.

• Aparato nuclear de medida de densidad y humedad, cuyos valores son calculados e impresos automáticamente, sin requerir calibrado para los distintos suelos.

• Ensayos Dynaflect para especificar y medir la respuesta a cargas dinámicas.

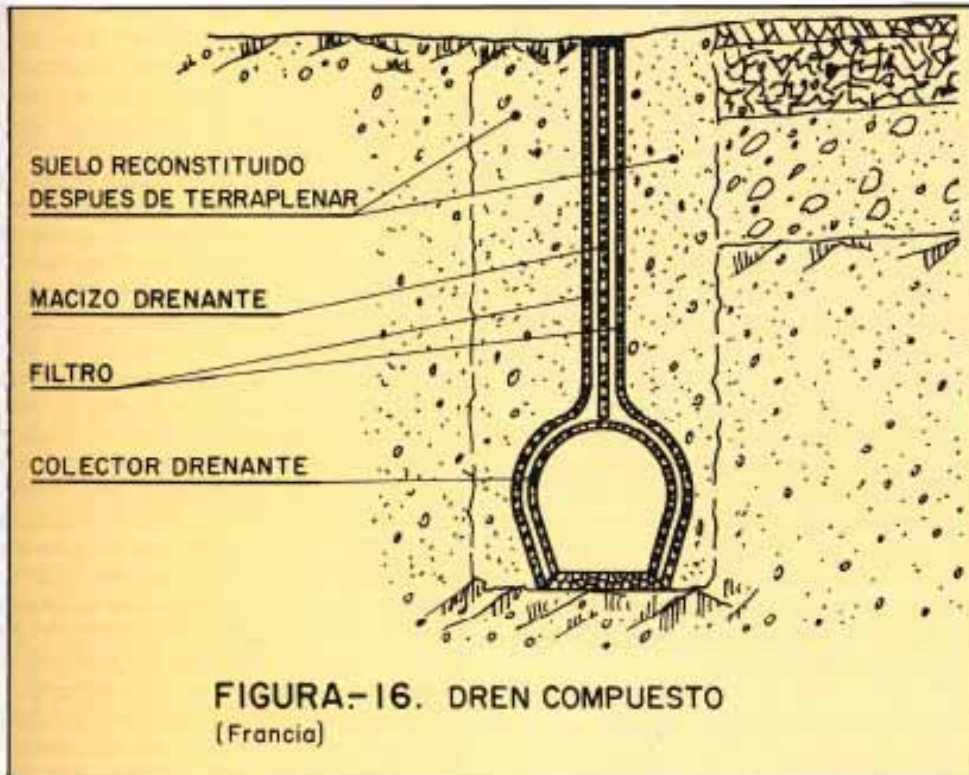


FIGURA-16. DREN COMPUESTO
(Francia)

• Datos obtenidos del compactómetro y oscilómetro.

Para completar este punto, dos cuestiones interesantes: 1) en el caso de construcción de pedraplenes se utilizan rodillos vibrantes pesados, y el control se realiza con aparatos nucleares, con el método «e, Q/S» y el basado en el análisis del grosor de granos e índice de huecos. 2) En países de climatología extrema se utiliza un método de construcción de terraplenes en invierno, que incluye una recompactación adicional después del deshielo (mediante pilones o vibraciones), siendo la humedad en el momento de la compactación el factor que controla las características del suelo (en condiciones de aridez se deben tomar medidas para evitar la evaporación), así como la uniformidad; el control se basa en la definición de un índice de calidad y un coeficiente de compactación.

La influencia de las condiciones atmosféricas en la ejecución de las obras se palia generalmente estabilizando con cal las arcillas blandas para obtener una plataforma estable. Una medida de la susceptibilidad a la helada de materiales se realiza mediante el índice de helada I ($^{\circ}\text{C} \times \text{día}$), que permite predecir aproximadamente la profundidad de helada en determinadas zonas climáticas. La penetración de helada en milímetros tiene el valor de 40 l.

Se recomienda en estas circunstancias de climatología adversa realizar un análisis de los parámetros responsables y la forma de tenerlos en cuenta en el estudio y redacción de los contratos. No resulta conveniente terraplenar con muy bajas temperaturas ni cuando hay nevadas importantes, salvo en el ca-

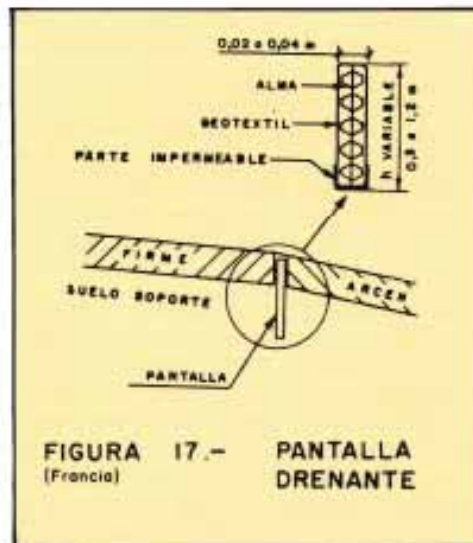


FIGURA 17.- PANTALLA DRENANTE
(Francia)

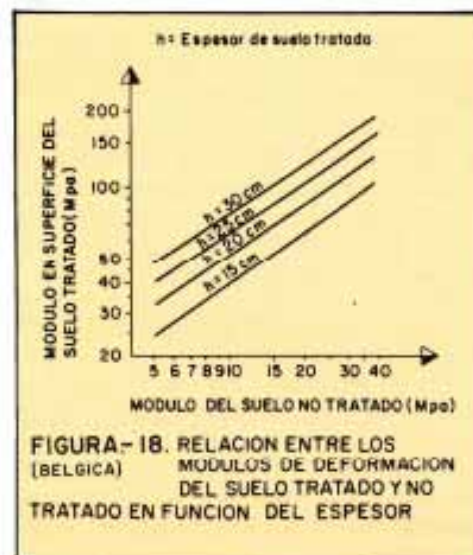


FIGURA-18. RELACION ENTRE LOS MODULOS DE DEFORMACION DEL SUELO TRATADO Y NO TRATADO EN FUNCION DEL ESPESOR
(BELGICA)

so de que se trate de materiales gruesos. En el caso de formaciones rocosas alteradas o blandas que cambian sus propiedades bajo influencias del clima (pérdida de resistencia, hinchamientos), deben tratarse con materiales ligantes.

Se comenta aquí, por no tener cabida en ninguno de los apartados anteriores, un tema interesante tratado en el rapport del Comité, sobre los aspectos particulares de los contratos de obras de tierra con relación a los riesgos que afectan este tipo de trabajos. Se describen dos cuestiones importantes que es difícil incorporar de forma práctica a los contratos de obras de tierra: las incógnitas que suponen el resultado del reconocimiento del terreno y la influencia de los elementos meteorológicos. Dentro de este contexto y después de examinar los trabajos relacionados con este tipo de obras más susceptibles a estos riesgos geotécnicos y meteorológicos (reutilización de suelos, extracción de rocas, tráficoabilidad del terreno, estimación de préstamos, asentos de suelos compresibles, estabilidad de pendientes, etc.), se describen los aspectos más sobresalientes a tener en cuenta en la redacción del contrato, que son la incorporación de los informes geotécnicos y meteorológicos, las cláusulas administrativas relacionadas con ellos y el seguimiento de los trabajos, así como incluso la exigencia al contratista de un documento justificativo de las hipótesis en que se ha basado la oferta.

DRENAJE

Se plantea la necesidad de establecer un drenaje interno adecuado para la explanada y las obras de tierra, y mantenerlo y conservarlo a largo plazo para evitar fallos en la calzada y en los taludes. No existen métodos de probada eficacia que permitan seguir el comportamiento de los sistemas de drenaje no constituidos por tuberías, así como técnicas de conservación de drenes geotextiles.

Hay pocas innovaciones en lo que se refiere al empleo de nuevos materiales, pero sí un desarrollo muy importante de los ya existentes y técnicas muy automatizadas de construcción. Entre los productos más recientes, se pueden mencionar los siguientes:

— Drenes filtrantes para los laterales de calzadas colocados con zanjadora:

• Con alma drenante delgada vertical, recubriendo un tubo y envuelto en geotextil (Figura 16).

• Con alma alveolada sintética y envuelto en geotextil (Figura 17).

— Tubos de plástico (PVC) ranurado o perforado con fondo plano sellado.

— Dren filtrante de sección rectangular, en hormigón prefabricado, con base de hormigón denso, y el resto de hormi-

gón poroso con forro exterior de geotextil.

Respecto al *diseño y realización de sistemas de drenaje* es preciso indicar en primer lugar que, dado que muchos fallos de terraplenes y explanadas se producen por inadecuación del mismo (superficial y profundo), se está reexaminando su filosofía con el fin de aumentar su eficacia y duración, debiendo los proyectistas prestar más atención a los costes producidos durante la vida de la obra, teniendo en cuenta la conservación.

Entre los procedimientos utilizados recientemente, se debe prestar atención a los siguientes:

- Técnicas de disminución de colmataje por fangos y lodos.
- Drenes filtro constituidos de capas de materiales filtrantes de diferentes granulometrías.
- Drenes subterráneos horizontales.
- Disposición transversal en capa de arena de tubos perforados para rebajar nivel freático (5 m. por encima).
- Zanjas drenantes en base de terraplenes y drenes longitudinales bajo cunetas y centro de terraplén.
- Drenaje de laderas mediante pozos inclinados.

Se deben seguir una serie de recomendaciones:

- Verificar el emplazamiento de las capas acuíferas y tenerlo en cuenta en diseño.
- Excavar con precaución las zanjas en formaciones rocosas.
- Recuperar y purificar el agua de escorrentía superficial (purgadores de aceite, depósitos de decantación).
- Evitar la contaminación de aguas subterráneas.
- Seguir principios de planificación integrales.
- Proteger los taludes del terraplén (hojas impermeables, materiales locales impermeables).
- Utilizar posibles normas de utilización (por ejemplo, norma belga sobre geotextiles para drenaje que define límite elástico, alargamiento y caudal de evacuación).

Con relación al *mantenimiento de los sistemas de drenaje* pueden presentarse problemas si éste es inadecuado o insuficiente. Cuando se produce un fallo, el diseño del sistema debe ser revisado para evitar que se repita el problema, introduciendo materiales que reduzcan costes. Es muy importante llevar a cabo operaciones de inspección y limpieza regulares para verificar el caudal durante la estación lluviosa y su estado en la estación seca, así como realizar un estudio del comportamiento a largo plazo del sistema de drenaje (por ejemplo, mediante piezómetros, dispositivos de medida neutrónica, etc.).

A este respecto se puede indicar la

existencia de una sonda propulsada mediante aire comprimido que es utilizable, en canalizaciones de más de 200 mm., llevando una cámara de TV para inspección o una cuchara de sedimentos para limpieza, no existiendo inconveniente para el paso de codos.

La encuesta realizada entre los países miembros del Comité y expuesta en su rapport ha permitido conocer los diferentes métodos de inspección y trabajos de conservación de los sistemas de drenaje (Tabla 5), indicando las características de éstos (tradicionales, geotextiles y tradicionales con filtro geotextil).

Los ejemplos reales que muestran la influencia del drenaje sobre el comportamiento de las obras presentan éxitos y fracasos. En general, se puede afirmar que un drenaje mal concebido, mal instalado o mal observado da lugar a problemas en las obras de tierra, debiéndose asegurar que la reparación que se efectúe pueda ser conservada.

EXPLANADAS

Se concede cada vez más importancia a la explanada, aunque su concepto no sea uniforme en todos los países. El rapport del Comité ha estudiado este punto, y después de examinar las diferentes denominaciones y sus respectivas funciones, examinando los materiales utilizados, su dimensionamiento y control de ejecución propone la siguiente definición que merece ser transcrita:

«La explanada es la parte de una obra de carreteras, situada entre el suelo que forma el terraplén o el terreno natural y el cuerpo de la calzada. Constituye una estructura más o menos compleja, permitiendo adaptar las características por naturaleza dispersas y aleatorias de los suelos con las características mecánicas hidráulicas y térmicas tomadas como hipótesis para la concepción de la estructura del firme. La superficie superior de esta estructura de adaptación constituye la plataforma soporte del firme».

Se confirma de manera general que esta capa debe ser tanto más cuidada y ejecutada como capa de la estructura del firme cuanto mayor es el tráfico de obra, más cortos los plazos de ejecución y más rígida la estructura de calzada prevista, y que se debe tener en cuenta en su dimensionamiento aunque no están definidas las metodologías.

Como *materiales no tradicionales* se han utilizado preferentemente cenizas volantes de central de carbón estabilizadas con cal (4-6%), geotextiles y geoceldas (economía de materiales granulares) y, en general, materiales elaborados en obra y seleccionados.

Es preciso comentar aquí la utilización del denominado «hormigón mineral» (piedras machacadas mezcladas en central) en capas portantes con exigencias importantes. Después de su preparación (machacado, cribado, calibrado), depósito intermedio (silos, aire libre), dosificación de diferentes granulometrías, humectación, mezcla, carga y transporte, se pone en obra en capas de 20-25 cm., con un rodillo vibrante.

Las investigaciones llevadas a cabo sobre el problema del pumping y de la contaminación de capas granulares por finos han permitido resolverlos mediante interposición de geotextiles tipo composite y no tejidos rellenos de arena (sand-fillers non-wovens) y complejos geotextiles-geomembrana que envuelve la capa de explanada. Esto confirma el empleo de geotextiles como capa anticontaminante, aunque no hay acuerdo sobre su grado de eficacia y la posible contaminación de capas granulares, incluso con geotextil, si el criterio de filtro no es bien elegido.

No obstante los avances conseguidos, se deben investigar métodos de dimensionamiento que permitan evaluar el poder de refuerzo de los geotextiles y geomallas colocados en la base de la explanada, así como establecer recomendaciones para el uso de tratamiento con cal, investigando los fallos que se produzcan.

En cuanto a la *estabilidad de las explanadas*, se cuestiona en algún caso las realizadas con cal (hidratada o viva) por pérdida de resistencia después de 2 ó 3 años, utilizándose por ello como capacidad soporte para el dimensionamiento la del suelo no tratado. En estos casos se ha sustituido por cemento, lo cual reduce espesor de la estructura de firme, y que en caso de ser puzolánico se acompaña de cenizas volantes. También se han utilizado en alguna ocasión concreta escorias de incineración que por su elevado grado de humedad (se refrigeran por inmersión) deben ser estabilizadas con cemento.

La realización de explanadas tratadas con ligantes hidráulicos se realiza actualmente con máquinas de gran potencia comandadas por palpadores guiados sobre hilos.

En el caso de desmontes se puede mejorar la capacidad soporte del suelo in situ, si ésta es insuficiente ($M < 17 \text{ MN/m}^2$) mediante diversos métodos (compactación; tratamiento a la cal, al cemento o mixto; sustitución) debiendo definirse los medios para hacerlo.

La *optimización* del conjunto explanada-estructura del firme, teniendo en cuenta los parámetros portancia y nivelación, puede conducir a economías del orden del 10-12%.

La tendencia actual es dimensionar la explanada en función del tráfico de obra

TABLA 5

Mantenimiento de los sistemas de drenaje

Conservación de drenes Comité AIPCR Obras de tierra Drenaje Explanadas Febrero 1986	Australia			Bélgica	Checoslovaquia	Reino Unido	RFA	Italia	Japón	Portugal	Rumanía	URSS
	Sur	Nueva Gales del Sur	Victoria									
Cuestiones												
Drenaje combinado												
A.2.1. Si es posible						—		—		—		—
A.2.2. Ocasionalmente	—		—	—	—		—	—				
A.2.3. Nunca		—							—		—	
Tubos utilizados en los drenes												
A.3.1. Hormigón poroso					—	—	—	—	—	—		—
A.3.2. Arcilla perforada						—		—			—	—
A.3.3. Hormigón perforado				—		—	—	—	—	—	—	
A.3.4. Plástico perforado	—	—		—		—	—	—	—	—	—	—
A.4. Cambios en el drenaje		—	—	—				—		—		
Inspección de drenes												
B.1.1. Visual	o	o	o	o		o	o	o	o	o	o	o
B.1.2. TV		o	o	o		o	o	o				
B.1.3. Instrumentos		o									o	o
B.1.4. A distancia							o					
Tipo de control												
B.2.1. Obstrucciones	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B.2.2. Estancamiento	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B.2.3. Escorrentía después de lluvia	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—
B.2.4. Invasión de vegetación	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—
B.2.5. Deslizamientos de terreno	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B.2.6. Pérdida por las juntas	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—
Procesos de control	—	—	—	—		—				—	—	
B.3.1. Frecuencia: intervalos anuales		1	1-2	0,3 0,5	+	1-10		+	2	1-2	0,25 2	2-4
B.3.2. Sistema explícito		—		—	—	—			—	—	—	
B.3.3. Parte de un gran sistema		—		—		—		—	—	—	—	
B.3.4. Informalizado						—					—	
B.3.5. Los controladores aseguran su mantenimiento	—	—	—	—	—			—	—	—		—
B.3.6. Se controlan posteriormente		—	—	—		—		—	—		—	
Operaciones y frecuencia de mantenimiento												
C.1. Limpieza: intervalos anuales	+	1.+	o	4		1	—	0,5	1-3	—	1-2	1
C.2. Limpieza mecánica	+	+	o			10	—	1	1-5	—	2-5	—
C.3. Material de dren filtrante						15R	—R	10		o	10	
C.4. Reconstrucción sincronizada con revestimiento	—	+		—	—	20	—	20		—	+	+
C.5. Reconstrucción en otros momentos	o	o	—				—	+	o		+	—

Legenda: si — Si es necesario + Regularmente Ocasionalmente o Reemplazar R

y del tráfico futuro de la carretera y dentro del contexto global de la estructura del firme.

Se utilizan algunos procedimientos prácticos de dimensionamiento:

— Abacos que permiten obtener el espesor de suelo a tratar en función de su módulo antes y después del tratamiento; el primero se obtiene con una sonda de hinca ligera (CRR) y el segundo a partir de un ensayo de placa (Figura 18).

— Abacos obtenidos a partir de ensayos de carga repetidos, que ligan el índice CBR del suelo con el número de ciclos de carga en la calzada y su índice estructural.

— Fórmulas que permiten obtener la capacidad soporte de la calzada.

$$CBR_{calculo} = \frac{CBR \cdot CBR_{max} - CBR_{min}}{C}$$

siendo

$\overline{CBR}$ Valor medio de los índices CBR medidos en cada punto

C Coeficiente variable entre 1,41 (n=2) y 3,18 (n>10)

n Número de puntos

$$CBR_{max} = \frac{h_1 \cdot CBR_1^{10} + h_2 \cdot CBR_2^{10} + \dots + h_n \cdot CBR_n^{10}}{100} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n h_i \cdot CBR_i^{10}}{100}$$

CBR_{med} Valor del índice CBR medio (%) en un punto en el que las propiedades del suelo varían para las distintas capas.

CBR_i Valor del índice CBR (%) de la capa i.

La protección de la explanada puede hacerse de diversas formas: compactación reducida cuando se trata de material evolutivo, protección de la intemperie, hojas plásticas, pulverización de betún, empleo de mezcla anhidra compuesta de betún y aceite de alta densidad (explanadas tratadas con ligante hidráulico), desagües drenantes transversales, pistas de obra, dimensionamiento por exceso de la subbase, geotextiles, etc.

Para evaluar la capacidad soporte de la explanada se pueden utilizar:

- Ensayos de placa, que permitan obtener el coeficiente de compresibilidad M.
- Valor del índice CBR, con evaluación precisa de la humedad.
- Martillo de impacto Clegg.
- Deflectómetro con boulets equipado con acelerómetros.

COMITE TECNICO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Dentro del rapport de este Comité, dos aspectos que tienen relación con las obras de tierra merecen ser comentados:



- Ensayos de materiales marginales.
- Ensayos sobre geotextiles.

El capítulo referente a ensayos de materiales marginales contiene, después de definirlos con precisión y clasificar los materiales examinados (43) en tres grupos (materiales naturales, subproductos industriales y desechos), unas tablas que definen para cada material el país en el que ha sido utilizado, su empleo (como árido o ligante y en qué capa), el tipo de clima, si el ensayo está normalizado, si es especial, el tipo de ensayo y, en su caso la norma que lo describe y posibles exigencias.

Respecto a los ensayos sobre geotextiles se examina el resultado de una encuesta sobre experiencias para ensayar la resistencia de los geotextiles respecto a agresiones mecánicas, hidráulicas, físicas, químicas, biológicas y otras, y posibles ensayos preconizados o recomendados. Se propone en Anejo un ensayo sobre resistencia residual en tracción después del ensayo de resistencia a la perforación.

CONCLUSIONES

Para finalizar se indican a continuación las conclusiones globales del Congreso en este tema, que resumen en cierta manera todo lo expuesto anteriormente.

Conclusiones administrativas

1. Realización de progresos, por las administraciones de carreteras, para evitar los problemas que se originan en los contratos de obras de tierra por un reconocimiento geotécnico insuficiente, y en consecuencia incierto, y la forma de tener en cuenta la influencia de las condiciones atmosféricas así como mejorar los aspectos

los técnicos del drenaje en explanadas y obras de tierra.

2. Realización de intercambios de información a nivel internacional sobre el empleo de materiales no tradicionales y reglas de empleo de geotextiles.

Conclusiones técnicas

1. Establecimiento de metodologías de optimización de la amplitud de las campañas de reconocimiento geotécnico utilizando técnicas geoprobabilísticas.

2. Establecimiento de clasificaciones geotécnicas, métodos de ensayo y reglas de empleo de materiales no tradicionales.

3. Seguimiento de investigaciones sobre reología de suelos compactados no saturados.

4. Previsión de dispositivos de inspección y mantenimiento de sistemas de drenaje.

5. Concepción de la explanada como estructura de adaptación.

6. Optimización de la interfase obra de tierra/calzada.

Cuestiones suficientemente desarrolladas

1. Herramientas adecuadas para reconocimiento geotécnico, ejecución de trabajos y control.

2. Progresos importantes en el empleo de geotextiles y materiales no tradicionales.

3. Técnicas suficientes para cimentación de terraplenes, estabilidad de laderas, refuerzo de suelos, estabilización de suelos.

Cuestiones a desarrollar más ampliamente

1. Diseño adecuado para inspección y mantenimiento del sistema de drenaje.

2. Variación del contenido de agua en terraplenes.

3. Influencia de las condiciones climáticas en el dimensionamiento y ejecución de las obras.

4. Optimización de la amplitud de las campañas de reconocimiento con ayuda de la geoestadística.

5. Concepto (estructura compleja de transición) y dimensionamiento económico y estructural de la explanada.

* José A. Hinojosa es Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe del Servicio de Geotecnia. D. G. Carreteras. MOPU.