

Caracterización de Granitos para su uso en Pedraplenes y Todos-Unos

MANUEL ROMANA RUIZ (*)

RESUMEN Los granitos, y las restantes rocas ígneas, tienen una gran variación en sus propiedades geomecánicas dependiendo de su grado de meteorización. La comunicación presenta un esquema de clasificación de los granitos en función de algunos ensayos geomecánicos de fácil ejecución, atendiendo a su posible utilización como materiales para pedraplenes, todo-unos y terraplenes. Los procesos de meteorización pueden variar mucho en función de las características petrológicas de la roca.

CHARACTERIZATION OF GRANITES FOR THEIR USE IN RIPRAP AND ALL UPS

ABSTRACT The different granites, and other igneous rocks, display great variation in their geomechanical properties depending on their degree of weathering. This report presents a classification method for granites as a result of some simply executed geomechanical tests, bearing in mind their possible use as material ripraps, all ups and embankments. The weathering processes may vary according to the petrological characteristics of the rock.

Palabras clave: Granitos; Rocas ígneas; Propiedades geomecánicas; Meteorización; Pedraplenes; Terraplenes; Características petrológicas.

1. INTRODUCCIÓN. TIPO DE RELLENOS

En general los granitos son considerados rocas "buenas" en ingeniería civil. Sin embargo este es una visión simplista ya que bajo el nombre de granitos se suelen englobar rocas diferentes desde el punto de vista petrológico con propiedades geomecánicas también diferentes. La meteorización de los granitos es un factor añadido que puede llegar a transformar un granito en suelo pasando por todas las etapas intermedias.

En esta comunicación, escrita tras la experiencia del estudio geotécnico de dos tramos de la Autovía de las Rías Bajas, (que se desarrolla en una gran longitud sobre diferentes rocas graníticas con propiedades geomecánicas diferentes y grados de meteorización muy variables) se propone un esquema relativamente simplificado de clasificación.

Los diferentes rellenos se clasifican como es habitual en:

Pedraplenes de granulometría abierta

- los elementos gruesos están en contacto entre sí.
- los elementos finos no rellenan los huecos totalmente y existen macroporos.
- son permeables o semipermeables.
- el comportamiento está gobernado por el entramado de elementos gruesos.

Pedraplenes de granulometría cerrada. Todo uno

- los elementos gruesos están en contacto entre sí.
- los elementos finos rellenan los huecos y por lo tanto no existen macroporos.
- son semipermeables o impermeables.

Terraplenes

- los elementos gruesos no están en contacto entre sí sino que "flotan" dentro de los finos.
- los elementos finos rellenan todos los huecos.
- son impermeables.
- el comportamiento está gobernado por las características de los elementos gruesos.

Las condiciones generales de granulometría suelen ser las siguientes:

	Pedraplén	Todo-uno	Terraplén
Tamaño máximo	2/3 longitud	2/3 longitud	10-15 cm
Pasa por el tamiz 1*	< 30 %	> 30 %	> 30 %
Pasa por el tamiz 200	< 10 %	10-25 %	< 40 %
Permeabilidad (m/s)	$10^{-4} - 10^{-5}$	$10^{-5} - 10^{-6}$	< 10^{-6}

2. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL MATERIAL

Para que un material pueda ser considerado aceptable para pedraplenes debe tener buena resistencia mecánica (que puede medirse por la resistencia a compresión simple) y poca alterabilidad (que puede medirse por el ensayo slake test, e indirectamente por la porosidad eficaz y por el peso específico aparente de la roca).

A continuación se resumen varios criterios citados en la literatura técnica y que fueron útiles como precedente.

- Criterio de GAMBLE (1971) sobre la durabilidad según la no-pérdida en el ensayo "slake test" de dos ciclos I_{20} (%).

(*) Universidad Politécnica de Valencia. Ingeniería.

I_{ab} (%)	Durabilidad
> 98	Muy alta
95 - 98	Alta
85 - 95	Medio alta
60 - 85	Medio baja
30 - 60	Baja
< 30	Muy baja

- Criterio de ESCARIO (1989) en función de la resistencia a compresión simple C_u .

C_u (MPa)	Aplicación
> 50	Pedraplén
28 - 50	Pedraplén con precauciones
< 28	Terraplén o todo-uno

Este criterio ha sido publicado por la División de Tecnología de la Dirección General de Carreteras ("Terraplenes. Estado actual de la técnica").

El ensayo "slake test" es base de otros criterios utilizados en Norteamérica para la caracterización de pizarras. De ellos el más simple es el siguiente:

- Criterio de FRANKLIN (1983) sobre la posible utilización de pizarras en pedraplén

I_{ab} (%)	Aplicación
> 80	Pedraplenes
< 80	Terraplenes

Si se desea utilizar la porosidad eficaz como indicador:

- Criterio de ROMANA (1985) sobre la alterabilidad de los granitos según la porosidad eficaz n (%) deducido a partir de numerosos datos de la literatura técnica y unas observaciones de FARRAN Y THENOZ (1965) sobre los granitos de Bretaña.

n (%)	Alterabilidad	Correlación con I_{ab} (%)
< 1	Nula	> 98
1 - 2,5	Escasa	
2,5 - 5	Medio	95 - 98
5 - 10	Alta	80
10 - 15	Muy alta	60 - 80
> 15	Total	< 60

3. DATOS OBTENIDOS EN GALICIA

Con objeto de caracterizar los granitos para su uso en rellenos se tomaron muestras tanto en superficie como en son-

deos profundos y se ensayaron en laboratorio determinando:

- n porosidad eficaz (poros accesibles al agua)
- ρ peso específico aparente ("densidad seca")
- RCS resistencia a compresión simple (en probeta cilíndrica de 50 mm de diámetro y esbeltez superior a 2).
- I_{ab} índice de durabilidad (o porcentaje de no-pérdida en dos ciclos del ensayo "slake-test" de abrasión y golpeo en un pequeño trommel que gira parcialmente sumergido en agua).

Para estudiar la correlación entre las diferentes propiedades se dibujaron los tres gráficos siguientes:

- peso específico aparente seco (t/m^3) / coeficiente ID_2 (%) (figura 1)
- peso específico aparente seco (t/m^3) / resistencia a compresión simple (MPa) (figura 2).
- porosidad (%) / resistencia a compresión simple (MPa).

Puede observarse que en los tres casos existe un grado de correlación apreciable aunque no sería prudente dibujar una línea de correlación estadística (ni siquiera una banda de error) y utilizarla como criterio de aceptación del material porque en todos los casos aparecen excepciones. Parece preferible establecer zonas amplias o "regiones" en los diagramas para definir los criterios de aceptación.

En todos los casos se ha señalado el grado de alteración utilizando la escala recomendada por la ISRM y agrupando los grados III y IV dada la dificultad frecuente de distinguirlos en el campo. Los diferentes grados de alteración se escalonan bien en los diagramas.

4. CRITERIOS PROPUESTOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE GRANITOS A USAR EN RELLENOS

Puede observarse que hay una clara correlación entre las diversas variables y en base a ella se han establecido las siguientes reglas de uso para los granitos.

REGLAS DE USO PARA LOS GRANITOS				
CLASE	γ (t/m^3)	n (%)	I_{ab} (%)	C_u (MPa)
X	> 2,50	< 5	> 95	> 25
Y	2,35 - 2,50	5 - 10	85 - 95	10 - 25
Z	< 2,35	> 10	< 85	< 10

Los criterios de uso y compactación de los materiales fueron los siguientes:

Clase X (cumplen todas las condiciones de la clase X)

- Apto para pedraplenes de granulometría abierta.
- Altura de tongada 100 cm (compactada)
- Compactación con rodillo vibratorio liso de más de 10 t (4-6 pasadas)

Clase Y (no cumplen alguna de las condiciones de la clase X)

- Apto para todo-uno.
- Altura de tongada 60 cm (compactada)
- Compactación con rodillo vibratorio liso de más de 10 t (6 pasadas).
- Porosidad final inferior a 15%.

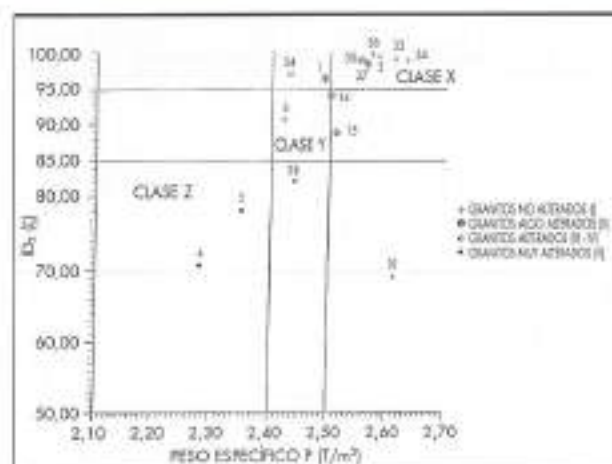


FIGURA 1. Correlación entre peso específico aparente y coeficiente.

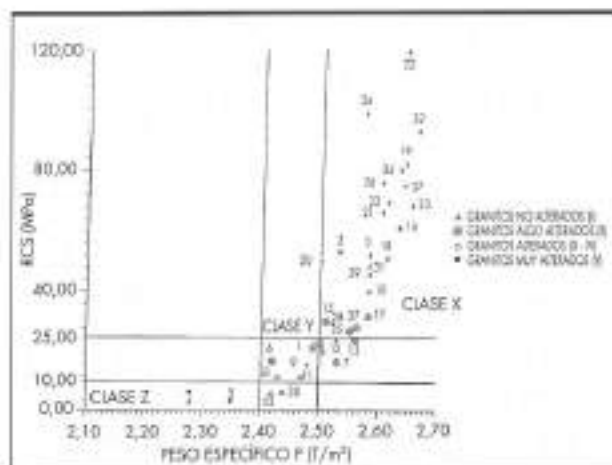


FIGURA 2. Correlación entre peso específico aparente y resistencia a compresión simple.

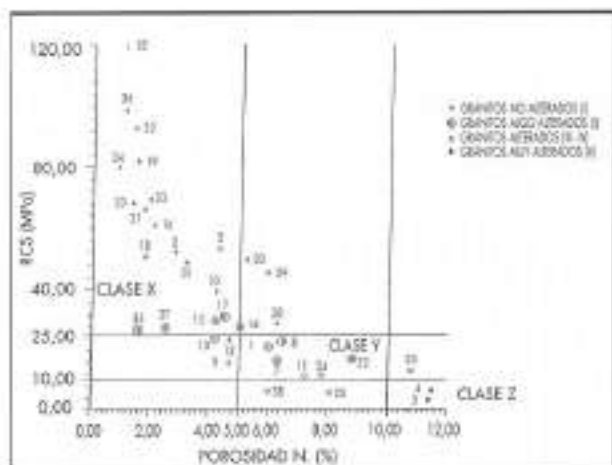


FIGURA 3. Correlación entre porosidad y resistencia a compresión simple.

Clase Z (no cumple alguna de las condiciones de la clase Y)

- Apto para terraplenes
- Altura de tongada de 30 cm (compactada)
- Compactación con rodillo de pata de cabra y/o compactador de pisones. Pasada final con rodillo liso.
- Compactación exigida: densidad superior al 95% de la obtenida en el Proctor modificado.
- Humedad tolerada: -2% lado seco, +1% del lado húmedo.

En general los granitos sanos (y/o ligeramente meteorizados) pertenecen a la clase X y son aptos para pedraplenes. Los granitos más alterados son adecuados para todo-unos y los jabres pueden ser adecuados para terraplenes y también como material de explanada, aunque las condiciones de humedad excesiva pueden dificultar extraordinariamente la colocación de los jabres con un grado de compactación aceptable.

Las reglas de uso anteriormente expuestas pueden cuantificar la aptitud de los granitos mediante ensayos baratos, sencillos, y de realización muy rápida lo que facilita el control de ejecución. Sin embargo con un material tan variable como el granito pueden aparecer muestras de difícil caracterización.

5. CRITERIOS GEOLÓGICOS PARA PREVER LA ALTERABILIDAD DE LOS GRANITOS

Existe una gran diversidad de nombres y clasificaciones aplicables a las rocas ígneas. Muchos de ellos son usados sólo esporádicamente pero contribuyen a crear un cierto grado de desorientación sobre todo entre los técnicos no profesionales de la geología. La tendencia actual es la utilización de las recomendaciones de la International Union of Geological Sciences (IUGS) que en la década de los 70 propuso una clasificación conocida a menudo con el nombre de clasificación de STRECKEISEN (véase por ejemplo DIETRICH y SKINNER, 1979; o THORPE y BROWN, 1985) o diagrama QAPF.

En la figura 4 se presenta esta clasificación esquemáticamente indicando además los tipos de granito con los que se han hecho los ensayos utilizados en esta comunicación.

En la figura 5 (DIETRICH y SKINNER, 1979) se dibujan los campos de los granitos más frecuentes en el mundo, representación no muy adecuada para España donde las tonalitas son mucho menos frecuentes.

En términos generales la plagioclasea es más alterable que los feldespatos alcalinos de manera que la posición de un granito sobre el diagrama QAPF nos da una inmediata indicación de su susceptibilidad a la meteorización, mayor cuanto más a la derecha se sitúa. Así las tonalitas (zona 5) son muy alterables, más que las granodioritas (zona 4), que a su vez son más alterables que los granitos "sensu strictu" (zona 3) y los alcalinos (zona 2). Debe hacerse notar que esta predisposición es general y no significa que un determinado afloramiento esté alterado o no. Sin embargo la experiencia enseña que las tonalitas, y en menor grado las granodioritas, pueden presentar espesores muy importantes de alteración.

Otro factor geológico de meteorización es la aparición de mica negra, biotita, mucho más alterable que la mica blanca, moscovita, lo que explica la mayor alteración de los granitos de dos micas que la de los biotíticos. La importancia del tipo de mica se deriva de su posición en la serie de BOWEN que indica el orden de cristalización de los minera-

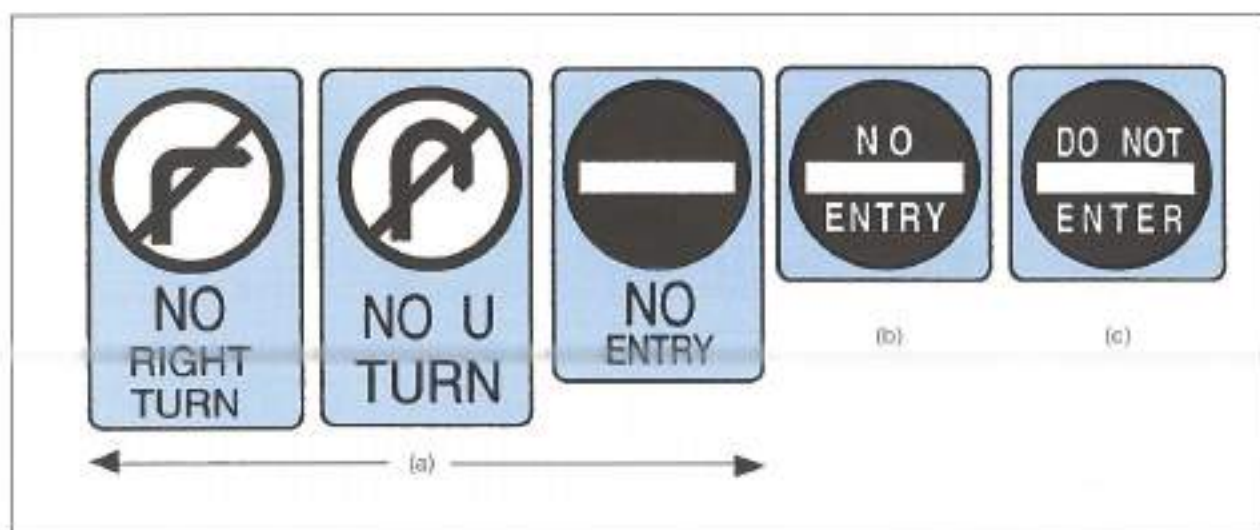


FIGURA 1. Ejemplos de señales híbridas. (Fuente: a) versiones antiguas austriacas, b) versiones actuales y c) versión estadounidense).

TABLA 1. Criterios para la valoración de las señales de tráfico. (Fuente: Dewars y Ellis 1982).

CRITERIO	DEFINICIÓN
Legibilidad	Distancia a la que se puede leer el texto o distinguir sus símbolos.
Comprensión	Facilidad de entendimiento de un símbolo.
Valor de atención	Distancia a la que la señal puede ser detectada o leída en un entorno complejo.
Visibilidad rápida	Facilidad con que se puede leer una señal cuando es vista durante un corto periodo de tiempo.
Tiempo de reacción	Rapidez con la que el conductor entiende el significado de la señal.
Distancia de visibilidad	Distancia máxima a la que puede verse una señal.
Aprendizaje	Facilidad con la que se recuerda un símbolo y se aprende con facilidad.
Preferencia	Opinión subjetiva respecto de la idoneidad de una señal.

cuenta por la dificultad de tratamiento de los datos—, o en un **laboratorio**. Estos pueden ser ensayos *in situ*, que sitúan la señal en su contexto (por ejemplo, una fotografía de la vía en la que se encuentra la señal), o ensayos que coloquen la señal *aislada* sobre un fondo plano. Un estudio comparativo de ambos sistemas concluye que los estudios de laboratorio con señales aisladas ofrecen una eficacia de las señales inferior a la real, porque no existen mensajes adicionales que faciliten la comprensión del significado de la señal como ocurre en una vía pública.

Conviene reunir diferentes opciones de la nueva señal (similares a la que mejores resultados ha ofrecido en una primera fase), y estudiar su comportamiento con una muestra representativa de la población conductora. Mediante una serie de preguntas y respuestas (selec-

cionando una opción de las presentadas como posibles respuestas o bien con preguntas abiertas sin ninguna sugerencia previa) se valoran las características de la señal: mostrando la señal por tiempo limitado, durante todo el tiempo que precise el entrevistado, repitiendo la prueba al cabo de unos días, etc. Los criterios recomendados para valorar la señal se encuentran en la tabla 1.

Finalmente, una vez escogida y puesta en servicio la señal debe realizarse el seguimiento de su comportamiento para comprobar que es satisfactorio.

REFERENCIA DE CONSULTA

1

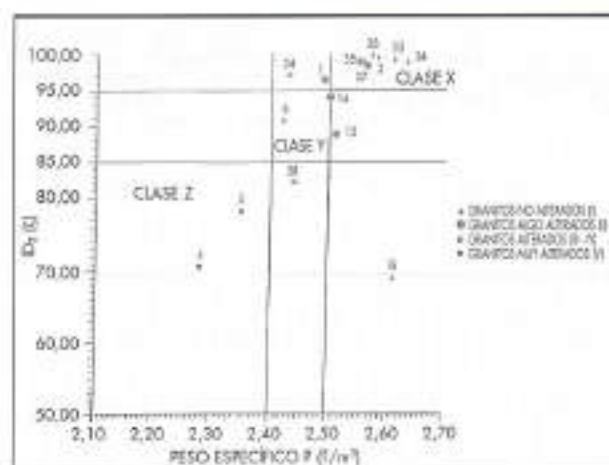


FIGURA 1. Correlación entre peso específico aparente y coeficiente.

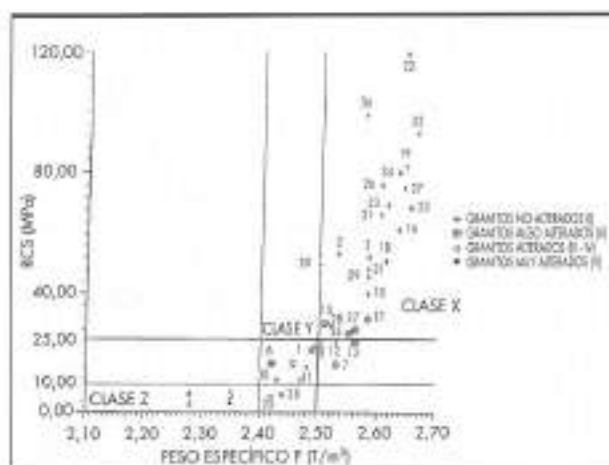


FIGURA 2. Correlación entre peso específico aparente y resistencia a compresión simple.

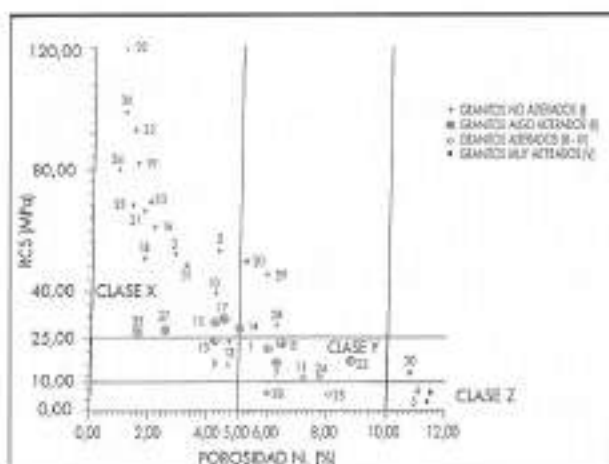


FIGURA 3. Correlación entre porosidad y resistencia a compresión simple.

Clase Z (no cumple alguna de las condiciones de la clase Y)

- Apto para terraplenes
- Altura de tongada de 30 cm (compactada)
- Compactación con rodillo de pata de cabra y/o compactador de piones. Pasada final con rodillo liso.
- Compactación exigida: densidad superior al 95% de la obtenida en el Proctor modificado.
- Humedad tolerada: -2% lado seco, +1% del lado húmedo.

En general los granitos sanos (y/o ligeramente meteorizados) pertenecen a la clase X y son aptos para pedraplenes. Los granitos más alterados son adecuados para todo-unos y los jabres pueden ser adecuados para terraplenes y también como material de explanada, aunque las condiciones de humedad excesiva pueden dificultar extraordinariamente la colocación de los jabres con un grado de compactación aceptable.

Las reglas de uso anteriormente expuestas pueden cuantificar la aptitud de los granitos mediante ensayos baratos, sencillos, y de realización muy rápida lo que facilita el control de ejecución. Sin embargo con un material tan variable como el granito pueden aparecer muestras de difícil caracterización.

5. CRITERIOS GEOLÓGICOS PARA PREVER LA ALTERABILIDAD DE LOS GRANITOS

Existe una gran diversidad de nombres y clasificaciones aplicables a las rocas ígneas. Muchos de ellos son usados sólo esporádicamente pero contribuyen a crear un cierto grado de desorientación sobre todo entre los técnicos no profesionales de la geología. La tendencia actual es la utilización de las recomendaciones de la International Union of Geological Sciences (IUGS) que en la década de los 70 propuso una clasificación conocida a menudo con el nombre de clasificación de STRECKEISEN (véase por ejemplo DIETRICH y SKINNER, 1979; o THORPE y BROWN, 1985) o diagrama QAPF.

En la figura 4 se presenta esta clasificación esquemáticamente indicando además los tipos de granito con los que se han hecho los ensayos utilizados en esta comunicación.

En la figura 5 (DIETRICH y SKINNER, 1979) se dibujan los campos de los granitos más frecuentes en el mundo, representación no muy adecuada para España donde las tonalitas son mucho menos frecuentes.

En términos generales la plagioclasea es más alterable que los feldespatos alcalinos de manera que la posición de un granito sobre el diagrama QAPF nos da una inmediata indicación de su susceptibilidad a la meteorización, mayor cuanto más a la derecha se sitúa. Así las tonalitas (zona 5) son muy alterables, más que las granodioritas (zona 4), que a su vez son más alterables que los granitos "sensu strictu" (zona 3) y los alcalinos (zona 2). Debe hacerse notar que esta predisposición es general y no significa que un determinado afloramiento esté alterado o no. Sin embargo la experiencia enseña que las tonalitas, y en menor grado las granodioritas, pueden presentar espesores muy importantes de alteración.

Otro factor geológico de meteorización es la aparición de mica negra, biotita, mucho más alterable que la mica blanca, moscovita, lo que explica la mayor alteración de los granitos de dos micas que la de los biotíticos. La importancia del tipo de mica se deriva de su posición en la serie de BOWEN que indica el orden de cristalización de los minera-

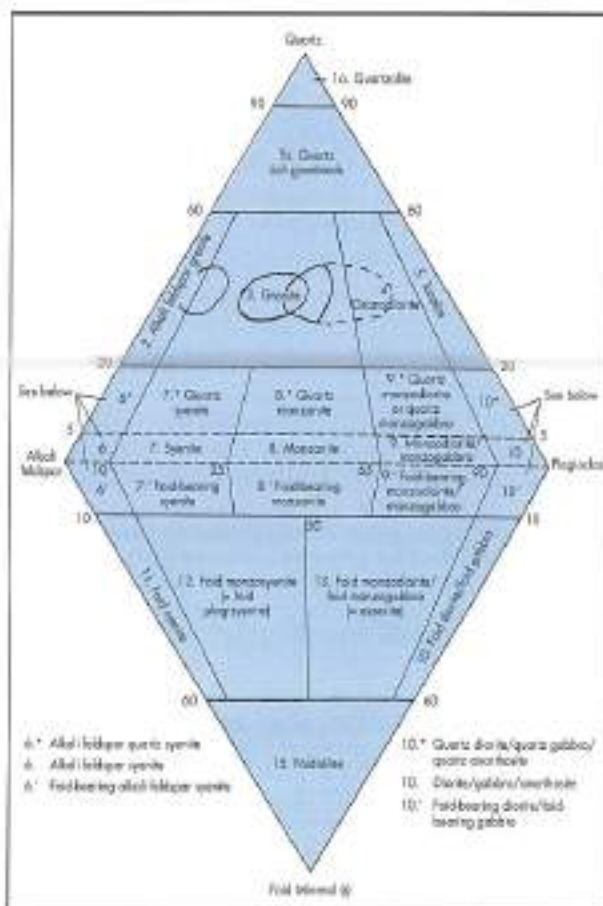


FIGURA 4. Esquema de clasificación QAPF para rocas ígneas. Se han indicado los granitos ensayados para esta comunicación.

les en un magma (inverso al de meteorización). Por la misma razón los granitos con plagioclasas calcicas (anortitas) resultan mucho más alterables que los que contienen plagioclasas sódicas (albitas).

De las observaciones anteriores pueden deducirse con facilidad criterios geológicos de carácter muy general para valorar la posible aptitud de los granitos para su uso en rellenos.

BIBLIOGRAFÍA

- DIETRICH R. V. y SKINNER B. J. (1979) "Rocks and rock minerals". Ed. Wiley. Pp 111-120.
- ESCARIO V. (1989) "Terraplenes y pedraplenes" Col. Tecnología/carreteras. MOPU. Pp 49.
- FARRAN J. y THENOZ B. (1965) "L'alterabilité des roches, ses facteurs, sa prevision". Annales du ITBTP Nov. N° 215. Pp 1534-1548.
- FRANKLIN J. A. y CHANDRA R. (1972) "The slake-durability test" Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. N° 9. Pp 325-341.
- FRANKLIN J. A. (1983) "Evaluation of shales for construction projects" Report RR229. Ministerio de Transportes de Ontario. Toronto. 9 pp.
- GAMBLE J. C. (1971) "Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks". Ph Thesis. Universidad de Illinois.

TIPOS DE GRANITO CITADOS EN ESTA COMUNICACIÓN				
Código	Zona	Descripción		Observaciones
A	2-3	G. de dos micas, orientado, algo leucocrático	SC	Con clorita
B	3	G. adaminitico de dos micas, muy leucocrático	SC	—
C	3-4	Granodiorita tardía (y g. calcocalcico)	PC	Denominación del MAGNA
G: Granito SC: Sincenotico PC: Posingenotico				

ROMANA M. (1985) "Materiales terrestres. Su utilización y comportamiento bajo el agua". Curso de rellenos y pavimentos portuarios. Dir. Gen. de Puertos y Puerto Autónomo de Valencia. Valencia.

ROMANA M. (1983) "Informe geológico-geotécnico para el tramo Barhantes-Melón de la Autovía de las Rías Bajas" MOPMA. INGEOTEC-INYPSA. No publicado.

ROMANA M. (1994) "Informe geológico-geotécnico para el tramo Villavieja-Río Mente de la Autovía de las Rías Bajas". MOPMA. INGEOTEC-CIISA. No publicado.

THORPE R. y BROWN G. (1985) "The field description of igneous rocks". Geological Society of London Handbook. Open University Press.

