

Variabilidad de parámetros geotécnicos en suelos cuasi-homogéneos. Evaluación del tamaño óptimo de muestra y selección de la misma

ROMAN ROMAN ALBA (*)
ANDRES GOMEZ PITARCH (**)

RESUMEN. Terrenos naturales que por su origen, formación y situación son denominados habitualmente homogéneos, presentan una dispersión en sus parámetros geotécnicos y les hemos denominado cuasi-homogéneos. En dos de estos casos hemos estudiado la variabilidad de la granulometría, densidad (aparente y real), humedad natural y permeabilidad.

El estudio se ha hecho tomando como base distintas superficies (varían entre 1,5 y 4.000 m²). Para cada superficie se ha estudiado la relación entre el coeficiente de variación y el número o tamaño de muestra utilizado. De esta forma se demuestra que para cada superficie hay un tamaño o número de muestras a partir del cual el coeficiente de variación no cambia. Hemos denominado óptimo a este valor ya que si se aumenta el muestreo la información del parámetro no varía.

Gráficamente se demuestra que existe una relación lineal entre el número de muestras óptimo y el logaritmo de la superficie a muestrear. Esta relación puede ser utilizada para definir el número de muestras a tomar en función de la superficie a muestrear.

GEOTECHNICAL PARAMETER VARIABILITY IN QUASI-HOMOGENEOUS SOILS. ASSESSMENT OF THE OPTIMUM SAMPLE-SIZE AND SELECTION METHOD

ABSTRACT. Natural soils that due to their origin, formation and situation, are generally referred to as homogeneous, show some dispersion in their geotechnical parameters, and we have them termed quasi-homogeneous. This article presents two such cases where a study has been conducted into the grain-size, density (apparent and actual), natural moisture-content and permeability. The study was carried out on different surfaces (ranging from 1.5 to 4,000 m²). The relationship between the coefficient of variation and the number or size of the sample used, was studied for each surface area. In this way, it is shown that for every surface area, the coefficient of variation does not change over and above a certain size or number of samples. This value is referred to as optimum, because even if the number of samples is increased, the parameter information remains invariable.

Graphs are used to show that a linear relationship exists between the optimum sample number and the logarithm of the surface area to be tested. This relationship can be used to define the number of samples to be taken, on the basis of the surface area to be sampled.

INTRODUCCION

La importancia del estudio de variabilidad de los terrenos viene dada por el hecho de que en carreteras y otras

disciplinas es necesario trabajar con grandes cantidades o superficies de suelos. En consecuencia las características de unas pocas muestras puede no ser indicativa del conjunto. Se hace necesario un análisis de tipo estadístico más completo.

Este estudio nos permitirá conocer cuál es la probabilidad de que ese terreno cumpla o no unas determinadas condiciones y por lo tanto definir su uso y el número de controles mínimo para garantizar su aplicación correcta.

(*) Doctor en Ciencias Físicas. Servicio de Tecnología de Carreteras. Dirección General de Carreteras del MOPU.

(**) Licenciado en Ciencias Físicas. Diplomado en Estadística General. Servicio de Tecnología de Carreteras. Dirección General de Carreteras del MOPU.

La variabilidad espacial de las características del terreno ha sido objeto de un elevado número de trabajos.

Básicamente los podemos dividir en dos categorías: aquellos trabajos que persiguen conocer las líneas preferentes de variación si es que existen (4) y los que tratan de evaluar cuál es el margen de dispersión que un mismo dato puede tener en terrenos naturales (2, 3).

Conocido el coeficiente de variación, es posible definir el número de muestras a tomar para obtener una media con un determinado grado de precisión y probabilidad (5).

El presente trabajo está dirigido al caso práctico de determinar la dispersión de un suelo natural que calificaríamos como homogéneo, a sabiendas que presenta una dispersión espacial de sus parámetros geotécnicos. Por esta razón hemos utilizado la expresión de suelos cuasi-homogéneos.

El estudio se lleva a cabo teniendo en cuenta la superficie a muestrear y la ubicación de la muestra (en superficie o a otras cotas). Como objetivo último se pretende evaluar el número de muestras mínimas en función de la superficie a muestrear para obtener el coeficiente de dispersión real de ese suelo.

Esto nos ha llevado a efectuar los ensayos utilizando diferentes escalas para la toma de muestras que han oscilado entre algunos centímetros y decenas de metros.

1. PLAN EXPERIMENTAL

Se han utilizado dos tipos de suelo en dos localidades diferentes al objeto de evaluar diferentes tipos de suelos:

1) **SUELO A.** Arenas arcósicas correspondientes al recinto del laboratorio situado en la carretera de Colmenar Viejo, km 18.

Este suelo puede ser considerado como bastante homogéneo a simple vista, tanto en superficie como en profundidad.

Sobre una superficie de 80×20 metros se tomaron 22 muestras inalteradas. En diez casos se llegó a 3 m de profundidad y en los restantes a 1 m.

La toma de muestras se efectuó en tres líneas paralelas separadas 10 metros entre sí.

Los ensayos hechos con estas muestras ha sido los siguientes:

- Permeabilidad en columnas de unos 500 mm de longitud a carga constante (56 muestras en total).
- Densidad aparente (295 muestras).
- Granulometría (350 muestras).
- Peso específico (360 muestras).
- Materia orgánica (164 muestras).

2) **SUELO B.** Suelo en las proximidades del río Jarama, dedicado a labores agrícolas y con textura de suelo franco en superficie y arenoso en profundidad con gravas a profundidades entre 1,5 y 3,5 metros.

Con este suelo se han hecho las siguientes experiencias:

Caso 1. Un muestreo con anillos sobre una superficie de $0,5 \times 0,5$ m. Los anillos son de acero de 40 mm de altura y 50 mm de diámetro que permiten obtener muestra inalterada.

Se llegó hasta 2,5 m de profundidad realizándose tomas de muestra a siete cotas distintas y en cada cota se toman cinco anillos.

Se realizaron las siguientes determinaciones: densidad aparente, humedad y granulometría.

Caso 2. Muestreo sobre una superficie de $5 \times 0,3$ m y hasta 2,8 m de profundidad utilizando los mismos anillos del caso 1.

Para cada profundidad se toman cuatro parejas de anillos separadas entre sí 1 m. Se muestrearon con este procedimiento catorce profundidades, cada 20 cm aproximadamente, lo que nos dio un total de 112 anillos. Para cada uno de los anillos se determinó la granulometría y densidad; de la materia orgánica solo se hizo un análisis por profundidad.

Caso 3. Sobre una superficie de 0,4 ha se hicieron treinta tomas de muestra a profundidades máximas de 3 m y se realizaron los siguientes ensayos: 30 densidades, 290 granulometrías, 290 materias orgánicas y 120 humedades.

Los tres supuestos se desarrollaron en una parcela de una 3 ha.

Para el caso de la granulometría hemos hecho una primera verificación: conocer cuál es el grado de repetitividad del ensayo debido al propio procedimiento. Esto se ha efectuado utilizando una misma muestra de la que por cuarteo se han obtenido siete partes iguales que el operador ha ensayado como independientes.

2. RESULTADOS

Hemos optado por analizar el coeficiente de variación (COV) en dos casos: en superficie entendiendo como tal los 30-50 primeros centímetros y en profundidad, para cotas superiores.

Los primeros 30-50 centímetros tienen la característica común para el suelo B de estar más alterado por las prácticas agrícolas y en consecuencia debe presentar unas características diferentes al suelo natural no afectado por dichas prácticas.

Los valores en profundidad se han ido comparando para las mismas cotas, lo que en algún caso nos ha permitido obtener más de veinte análisis del coeficiente de variación. Para simplificar la presentación de resultados se incluye además del COV en superficie, el máximo, mínimo y medio de los COV hallados en profundidad.

La proximidad de las tomas de muestras podía dar lugar a la existencia de correlaciones espaciales. Hemos utilizado el programa SURFER para elaborar la topografía en dos y tres dimensiones de cada uno de los casos ensayados y no existen variaciones predominantes.

tes de ninguno de los parámetros estudiados. Solamente en el caso 3 del suelo B y para profundidades entre 60-100 cm se observan dos zonas diferenciadas de textura, una más fina con el 25 % de la superficie, y otra más gruesa en el resto de la superficie.

1. Coeficientes de variación debidos al procedimiento para granulometría.

1.1. Método de sedimentación:

	MEDIA	COV
ARCILA	9,5	4,2
LIMO	31,9	4,1
ARENA	58,6	1,9

1.2. Por tamizado:

% PASA T. 200 ($< 0,075$ mm)	60,1	1,2
% PASA TAMIZ ($< 0,038$ mm)	33,7	1,9

2. En las figuras 1 a 8 se dan los COV para los distintos casos estudiados agrupados por parámetros y profundidades.

3. CONCLUSIONES

3.1. COEFICIENTE DE VARIACION Y PARAMETROS GEOTECNICOS

a) **Granulometría.** El coeficiente de variación debido al procedimiento de ensayo es muy pequeño. Cuando las

muestras son muy próximas, caso 1, el coeficiente de variación del terreno es del mismo orden que el del procedimiento cuando los resultados son de muestras superficiales. Para muestras a cotas superiores a los 50 cm, el coeficiente de variación es sensiblemente superior al del procedimiento.

En todos los casos del suelo B y para el suelo A se ha verificado este mismo hecho: la variación de la granulometría es más fuerte en profundidad que en las capas superficiales.

También se comprueba que el coeficiente de variación aumenta con la superficie a muestrear.

Los valores dados por J. Salas (1) pueden considerarse como algo bajos con respecto a los obtenidos para el suelo B, pero perfectamente válidos como elemento de referencia general.

b) **Densidad aparente.** El coeficiente de variación de este parámetro es bastante bajo para todos los casos, observándose diferencias muy pequeñas entre los valores encontrados para distintas superficies.

Comparando los coeficientes de variación entre las muestras superficiales y en profundidad se puede constatar un ligero aumento para las primeras.

c) **Materia orgánica.** Las dispersiones que se encuentran son altas en superficie y profundidad. Para el suelo A son mayores que para el suelo B que tiene unos contenidos más altos por su condición de suelo agrícola.

d) **Permeabilidad.** Como era de esperar, es el parámetro que presenta mayor dispersión.

e) **Humedad.** Los valores encontrados son relativamente altos en profundidad, que salvo para el caso 1 superan claramente a los valores en superficie.

3.2. NUMERO DE MUESTRAS OPTIMO

Si exceptuamos la permeabilidad, de los parámetros

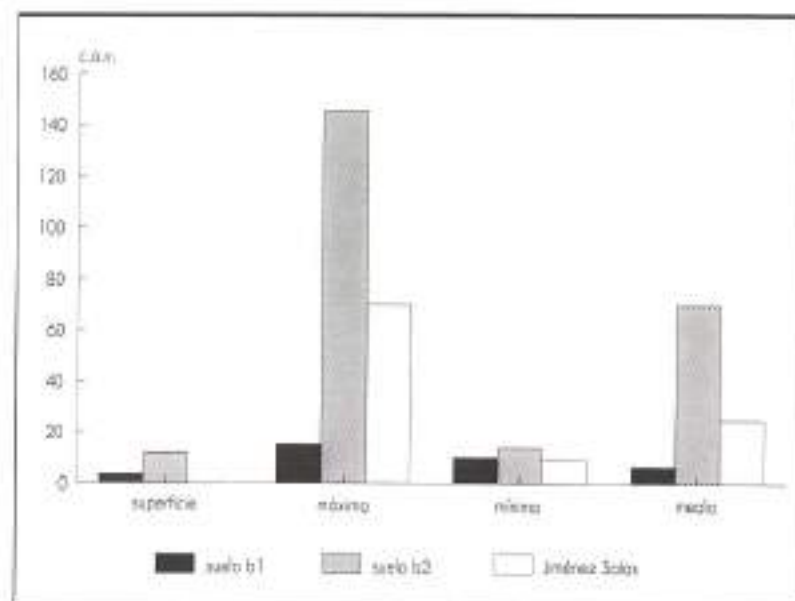


FIGURA 1. Arcilla.

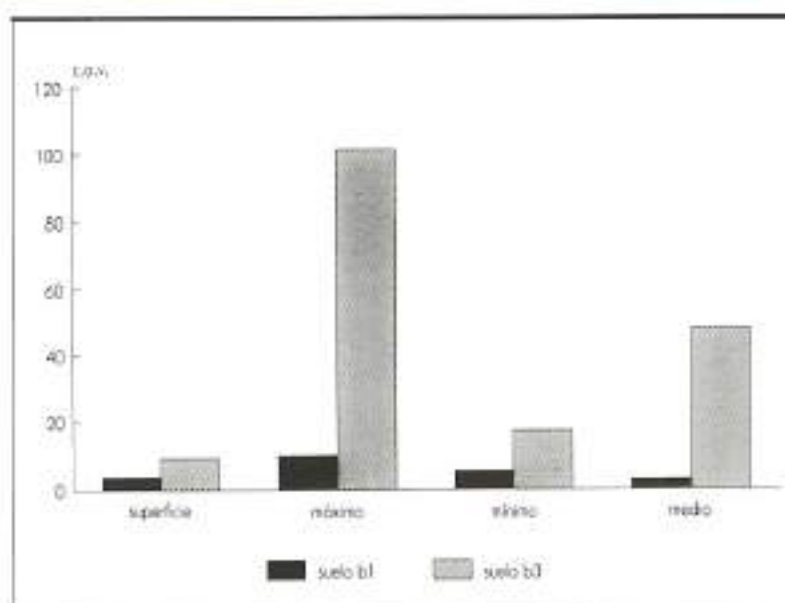


FIGURA 2. Limo.

geotécnicos estudiados el que mayor coeficiente de variación presenta es la granulometría. Además este parámetro es el más usual y primero de los utilizados en suelos.

Por estas razones hemos tomado este parámetro para definir el número de muestras óptimo a tomar para obtener un coeficiente de variación correcto en función de la superficie a muestrear.

Para realizar este estudio hemos procedido de la siguiente manera: definir mediante tabla de números

aleatorios un grupo de tres muestras como representativas del conjunto. Utilizando estas tres muestras se calcula el valor medio y coeficiente de variación. A este grupo se le añade otra muestra más, determinada al azar, y se repiten los cálculos. El proceso se va ampliando hasta el total de muestras utilizadas para cada superficie a la vez que se repiten los cálculos.

De esta forma hemos podido conocer la evolución del coeficiente de variación con el número de muestras. En las gráficas 9 a 17 se representa esta variación para

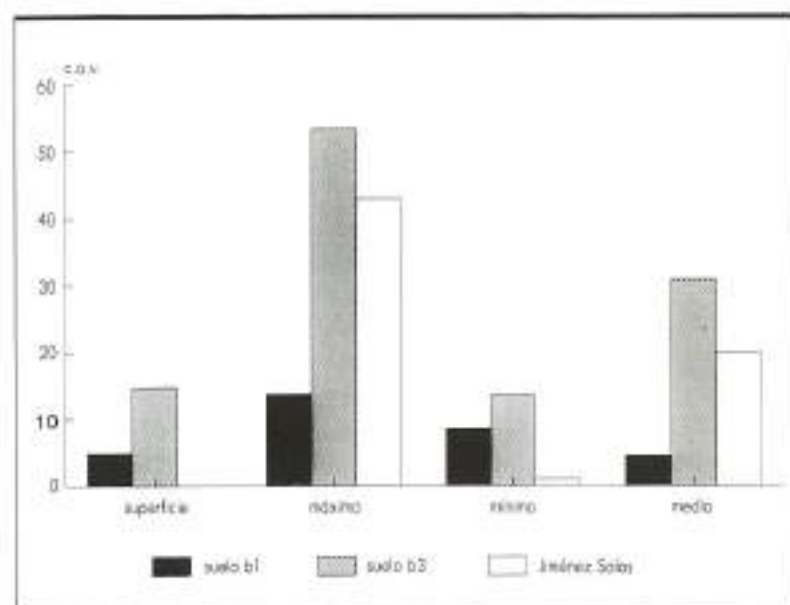


FIGURA 3. Arena.

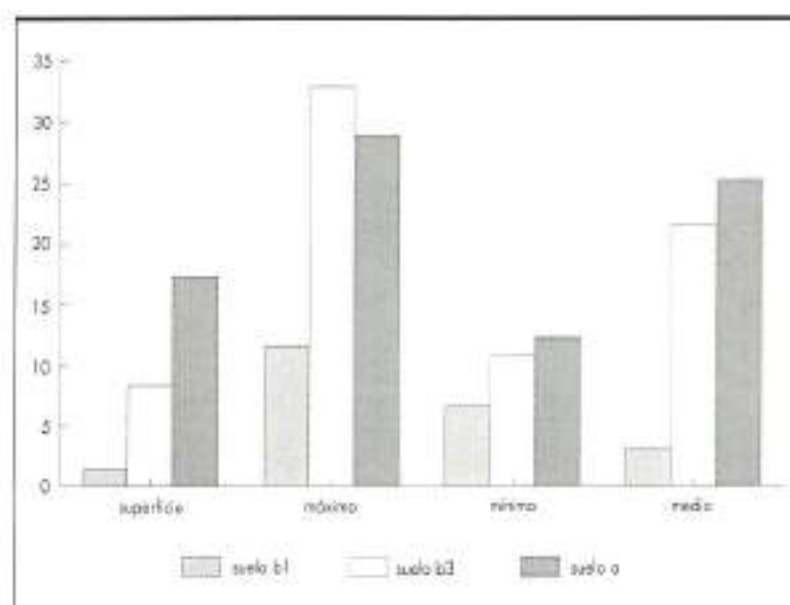


FIGURA 4. % pasa tamiz 200.

diferentes fracciones granulométricas a diferentes profundidades y para todos los casos estudiados.

En estas gráficas se puede observar, por lo general, que el coeficiente de variación tiende a estabilizarse u oscilar alrededor de un valor constante a partir de un determinado número de muestras. Esto significa que si tomamos un grupo de muestras mayor para calcular el coeficiente de variación no obtenemos mayor información pero sí más trabajo. A este número de muestras

mínimo es al que hemos denominado óptimo ya que permite con el mínimo esfuerzo de muestreo obtener la dispersión real del terreno.

Como puede apreciarse en las gráficas 1 a 8, este óptimo varía de un caso a otro y dentro del mismo caso tampoco se puede definir un único número, pues varía en función de la profundidad y del parámetro que se considere. No obstante, de estas gráficas se puede inferir que para el caso 2 el óptimo de muestras oscila entre

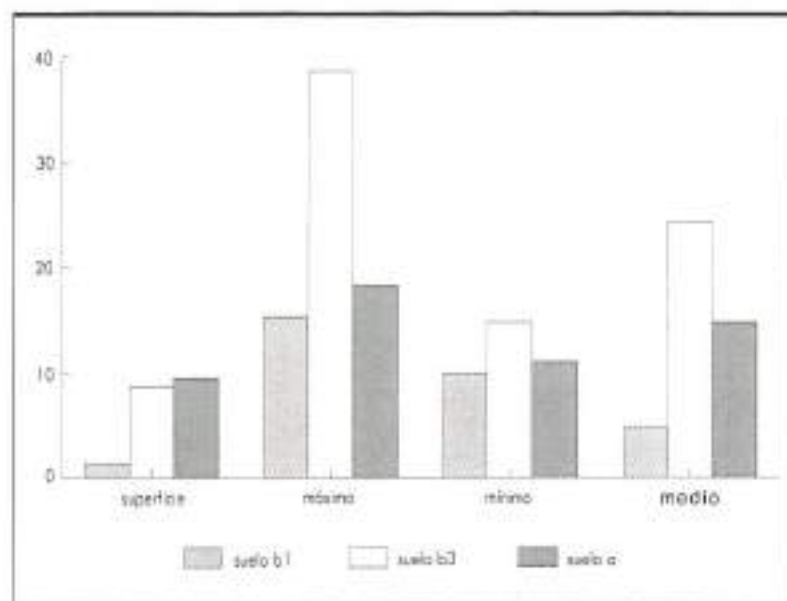


FIGURA 5. % pasa tamiz 400.

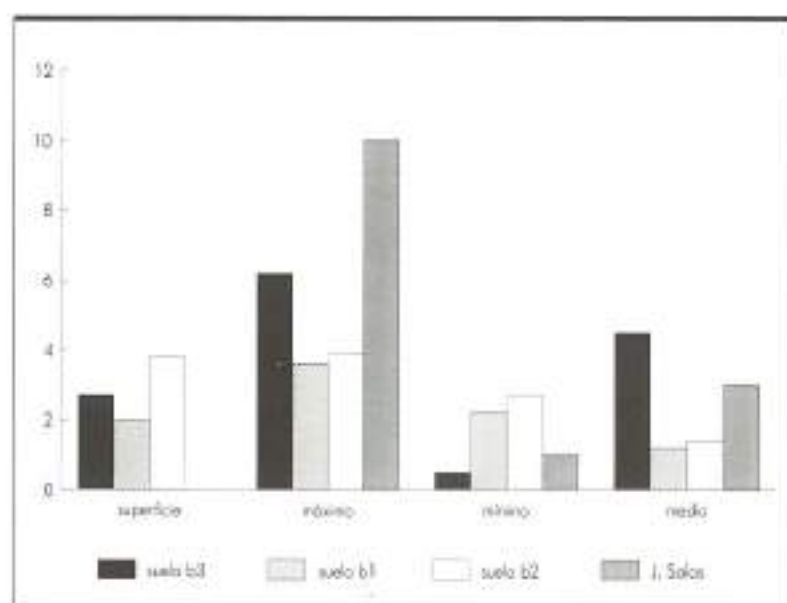


FIGURA 6. Densidad aparente.

cuatro y seis, mientras que para el caso 3 oscila entre 12 y 17. Para el suelo A puede tomarse entre 10 y 15 el número de muestras óptimas a considerar.

Si representamos gráficamente la superficie de muestreo de cada caso estudiado y el número de muestras óptimas obtenidos se encuentra la gráfica 9.

En esta gráfica la superficie se ha representado en escala logarítmica y se observa que hay una tendencia clara de variación del número de muestras óptimas a tomar y la superficie.

Se ha utilizado una recta para representarse esta tendencia si bien pueden adaptarse múltiples líneas.

Hemos puesto una como elemento indicativo y sobre la base que se refiere exclusivamente a dos tipos de suelos y tres superficies diferentes.

Parece lógico pensar que la línea de menor pendiente se dé para suelos más homogéneos y que la de máxima pendiente para los más heterogéneos.

En todo caso consideramos que estos resultados pueden ser más útiles que los disponibles hasta este momento ya que:

1. Se refieren a suelos que desde un punto de vista geotécnico consideraríamos cuasi-homogéneos.

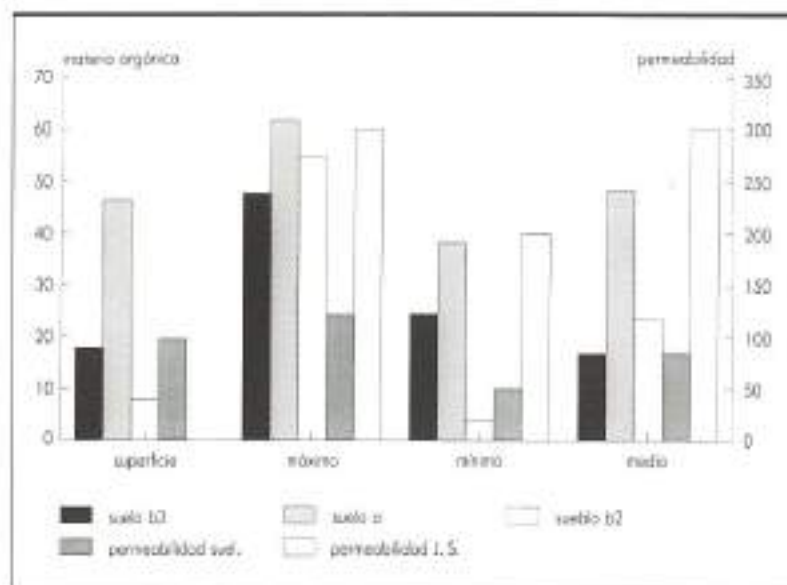


FIGURA 7. Materia orgánica-permeabilidad.

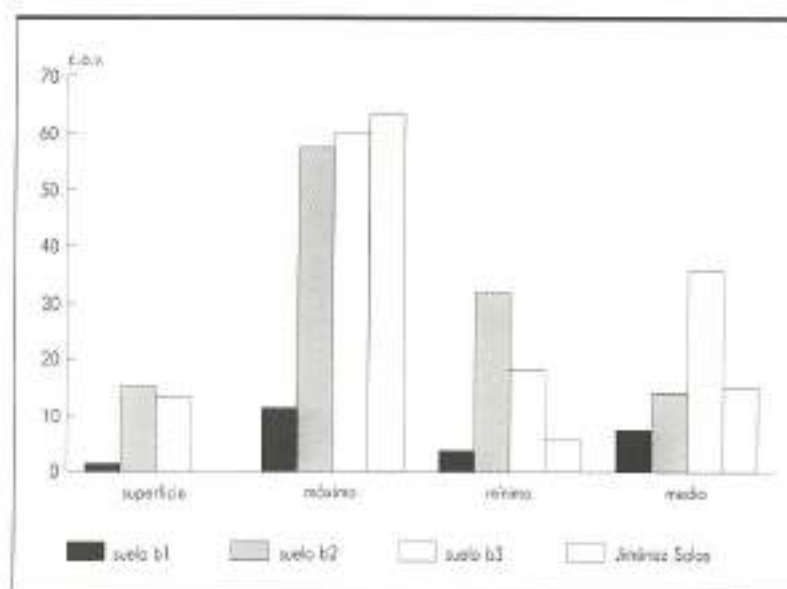


FIGURA 8. Humedad.

2. Permiten conocer un número de muestras iniciales mínimas a tomar para obtener un valor medio y dispersión correcta. El estudio particular y el objetivo del propio trabajo deben ser en último término los que realmente deben definir el óptimo de muestras a tomar.

BIBLIOGRAFIA

1. JIMENEZ SALAS, J. A. (1985). «Métodos deterministas versus métodos probabilistas en geotecnia. Geoestadística aplicada a la Mecánica del Suelo». Cedex 148, pp. 3-23.

2. LOPEZ CORRAL, A. (1985). «Variabilidad de parámetros geotécnicos». Geoestadística A.M.S. Cedex 148, pp. 217-239.

3. LOPEZ CORRAL, A., y CUELLAR MIRASOL, V. (1985). «Control de calidad de obras de tierras». Geoestadística A.M.S. Cedex 148, pp. 331-347.

4. ALONSO PEREZ DE AGREDA, E. (1985). «Heterogeneidades estocásticas en los terrenos». Geoestadística A.M.S. Cedex 148, pp. 401-438.

5. LUMB, P. (1974). «Application of statistics in soil mechanics». Soil Mechanics. Amer. Elsevier Comp. Inc. New York.

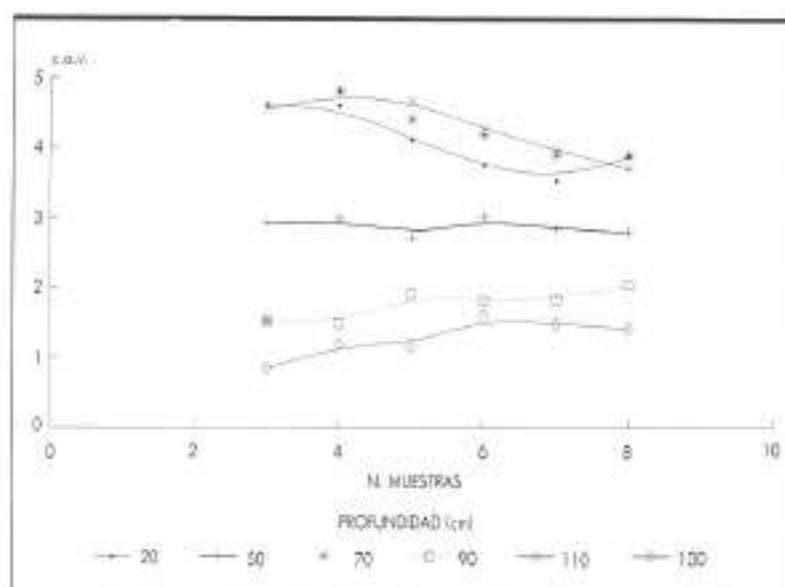


FIGURA 9. Densidad seca.

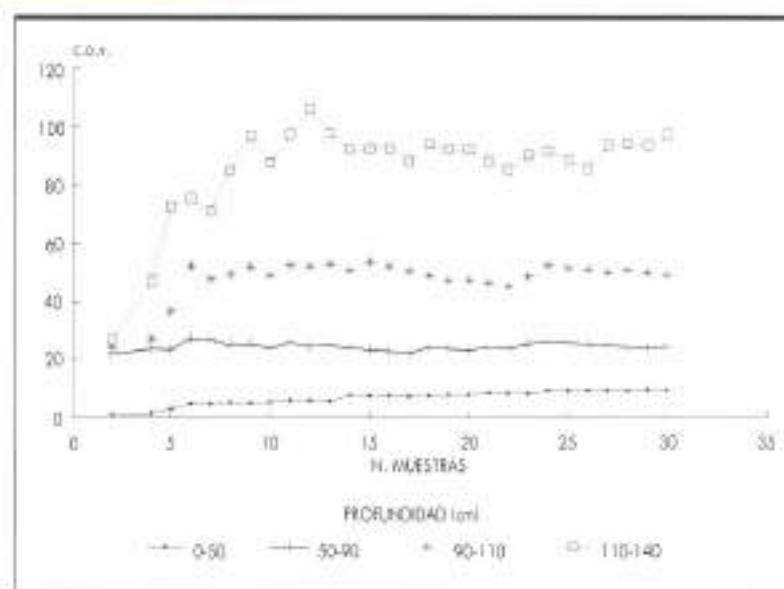


FIGURA 14. Limo.

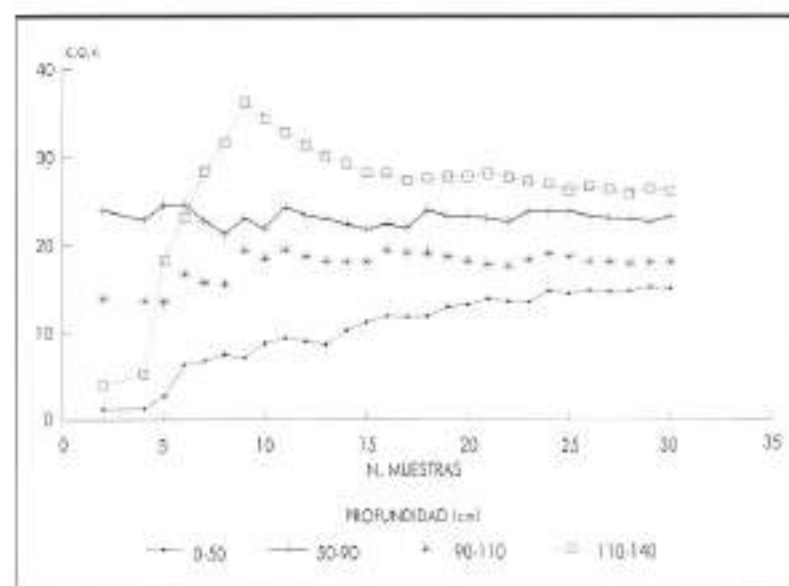


FIGURA 15. Arena.

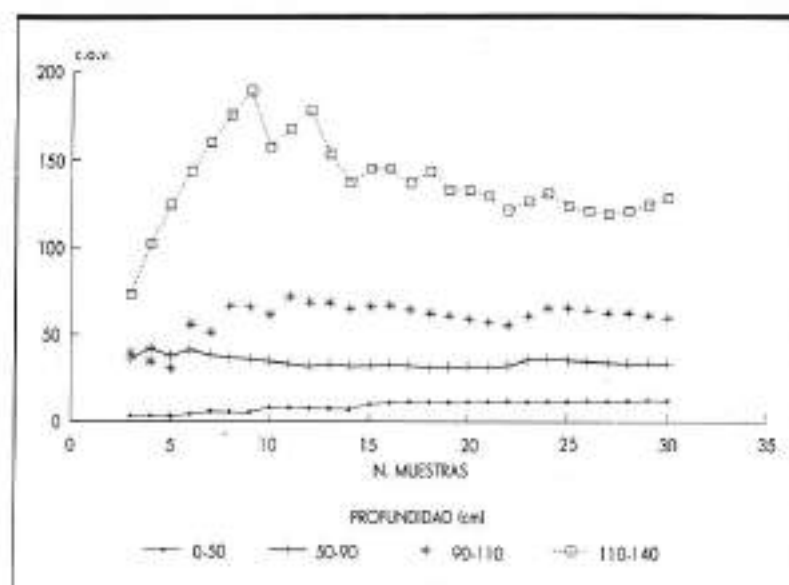


FIGURA 16. Arcilla.

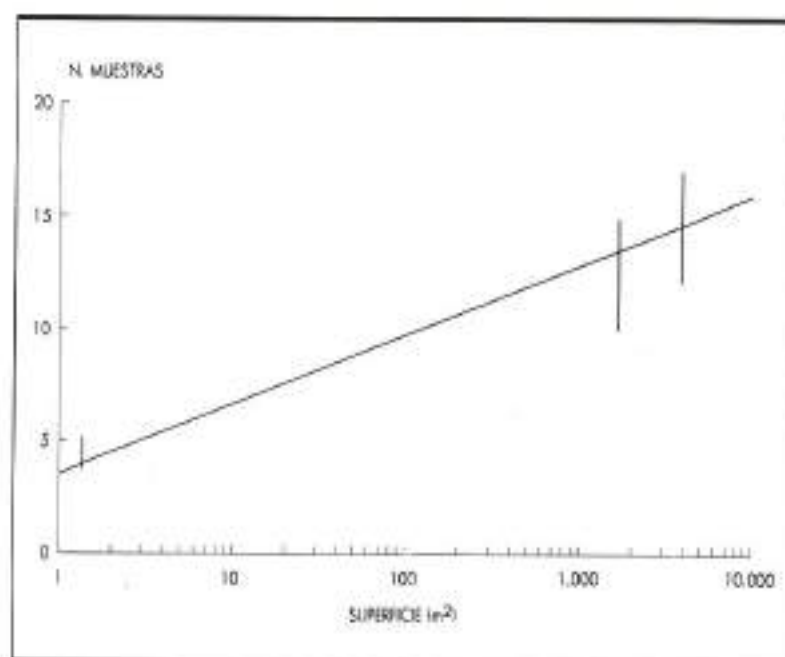


FIGURA 17. Relación superficie-número de muestras.

HAY CARRETERAS DONDE NI SIQUIERA MODIFAL PODRIA EVITAR EL AQUA-PLANNING.



PERO HAY OTRAS MUCHAS DONDE SI PODRIA. DONDE REDUCIRIA EL NIVEL DE RUIDOS (HASTA 3 DECIBELIOS). DONDE DISMINUIRIA LA FORMACION DE RODERAS Y FISURAS, Y RETRASARIA EL ENVEJECIMIENTO DEL FIRME AUN EN LAS CONDICIONES CLIMATOLOGICAS MAS EXTREMAS. REPSOL PRESENTA MODIFAL. EL PRIMER BETUN MODIFICADO EN EL QUE LA DISPERSION DE LOS POLIMEROS EN EL SENO DE LOS BETUNES ES PERFECTA Y HOMOGENEA. ESTA HOMOGENEIDAD ES LA QUE PERMITE A MODIFAL CONSERVAR INTACTAS SUS PROPIEDADES AUN EN PERIODOS PROLONGADOS DE ALMACENAMIENTO. ALGUNAS VECES HAY QUE CAMBIAR ALGO PARA QUE TODO SIGA IGUAL. NOSOTROS HEMOS MODIFICADO NUESTROS BETUNES PARA SEGUIR SIENDO LIDERES EN ASFALTOS.



REPSOL PRODUCTOS ASFALTICOS, S. A.

JUNTAS

PARA PUENTES

25.000 m
DE JUNTAS INSTALADAS

500.000 m²
DE TABLEROS
IMPERMEABILIZADOS

...EN 1.000 PUENTES,
...EN 100 OBRAS,
...EN 2 AÑOS.

MODELO	MOVIMIENTO ADMITIDO	SECCION
JPN - 25	25 mm	
JPN - 40	40 mm	
JUNTA ELASTICA JME - 60	60 mm	
JNA - 50	50 mm	
JNA - 42	42 mm	
JNA - 52	52 mm	
JNA - 70	70 mm	
JNA - 80	80 mm	
JNA - 100	100 mm	
JNA - 160	160 mm	
JNA - 230	230 mm	
JNA - 330	330 mm	

composan
CONSTRUCCION

Carrera de San Jerónimo, 17 • 28014 MADRID
Teléfono: 429 51 59 • Fax: 429 34 30



NUEVA TECNOLOGIA TEXSA PARA SIMPLIFICAR Y ABARATAR LA CONSTRUCCION DE DEPOSITOS DE AGUA POTABLE.



El sistema Texsa-Cover ofrece el máximo ahorro y todas las ventajas para construir depósitos de agua potable más seguros, resistentes y de mejor calidad.

Este nuevo sistema de cubierta flotante que Texsa introduce ahora en España, es la solución para hacer más rentable la construcción de depósitos de agua potable con el máximo ahorro económico y el mejor resultado. Es de muy rápida ejecución, su coste de mantenimiento es muy bajo y evita los problemas de fisuración de las soluciones rígidas debidos a:

- asentos del terreno,
- dilataciones y retracciones.

El Sistema Texsa-Cover no transmite tensiones y es altamente resistente a todo tipo de solicitaciones externas, tanto físicas como químicas (contaminación, acciones del viento, efectos sísmicos, sobrecargas de nieve, altas temperaturas, etc).

Además, evita la evaporación del

cloro y el desarrollo de algas o microorganismos nocivos, siendo totalmente ecológico y no agrediendo en absoluto el medio ambiente.

Toda una apuesta por el máximo ahorro y la mejor calidad en un nuevo producto que le ofrecemos en una gama de cinco colores diferentes.


texsa

PROGRESO EN CONSTRUCCION

EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS MATERIALES DE REPARACIÓN DE BASE POLIMERICA

AUTOR: Hewlett, P. C.	IDIOMA: Inglés
REVISTA: Concrete International	PAGINAS: 39-41
FECHA: Marzo 1993	SECCION:
CLASIFICACION: Materiales de Construcción	

RESUMIDO POR:

JOAQUIN ROMERO POSTIGUILLO

Laboratorio Central de Estructuras y Materiales

INTRODUCCION

En el presente artículo el autor realiza una reflexión sobre la necesidad de establecer un seguimiento de la calidad de aquellos materiales o productos empleados para reparar el hormigón deteriorado.

Por otra parte, conduce la tesis anteriormente expuesta hacia la necesidad de la existencia de algún organismo, que funcione como elemento regulador de la valoración y cumplimiento de las condiciones mínimas exigibles, para la consecución de una garantía de la calidad en los materiales de reparación del hormigón.

CONTENIDO

En el artículo se plantea, en primer lugar, la necesidad de establecer un sistema o un conjunto de especificaciones que sirvan de base para la regulación de la calidad de los materiales empleados para la reparación del hormigón. Este

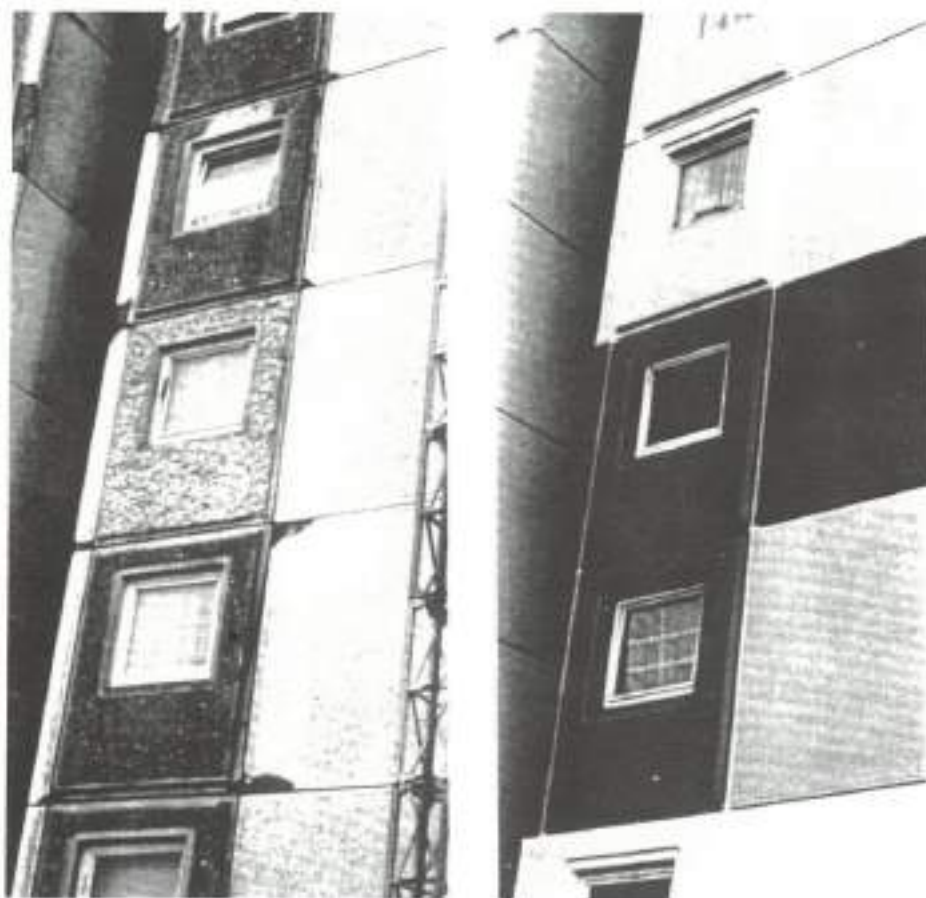


FIGURA 1. Edificio tratado con un producto de reparación de base polimérica. Izda.: antes de la reparación. Dcha.: una vez reparado.

planteamiento crea una primera cuestión: ¿quién debe regular dicho control?

El autor manifiesta la posibilidad de que el control de calidad de cualquier producto pueda llevarse a cabo bien por el fabricante, mediante un sistema de autocontrol, bien por el usuario a través de laboratorios especializados. Sin embargo, resulta evidente la carencia de objetividad dados los intereses existentes. Por ello, el autor considera imprescindible la participación en el proceso de una tercera parte independiente de las dos anteriores; es decir, un organismo autónomo encargado de la regulación del aseguramiento de la calidad, debido a que sus actuaciones son totalmente independientes de las dos partes afectadas: fabricante y cliente o usuario. Concretamente, en Gran Bretaña, es la British Board of Agrément (BBA) el organismo encargado del aseguramiento de la calidad de los productos, en general.

Asimismo, el autor expone sucintamente en qué consiste un sistema de aseguramiento de la calidad, concretamente la certificación de conformidad a norma:

En primer lugar, debe existir un sistema de aseguramiento de la calidad en el proceso de fabricación del producto en cuestión, llevado a cabo por el propio fabricante. Con esta medida se pretende que lo que se esté fabricando posea una constancia de características que permitan ser objeto de certificación.

El segundo lugar, una vez aprobada la certificación, se efectúa un control por parte del comité correspondiente mediante una serie de inspecciones: visitas a las instalaciones de fabricación, comprobación de los medios de producción, toma de muestras, realización de ensayos, tanto en las instalaciones como en el organismo autónomo, y verificación de los resultados.

Finalmente, se realizan unas inspecciones en el mercado,

constituyentes en adquirir productos certificados en puntos de venta usuales y comprobar sus características en los laboratorios del organismo autónomo.

CONCLUSIONES

Tras la exposición de las ideas anteriormente escritas, el autor llega a las siguientes conclusiones:

1. Para que cualquier producto aparezca y se mantenga en el mercado con la calidad preestablecida, debe existir un control por parte de un organismo autónomo.
2. Un buen sistema de aseguramiento de la calidad es el consistente en la certificación de conformidad a norma. Asimismo, compara dicho sistema con el mero cumplimiento de las normas, haciendo notar que sólo el primero mantiene constante la calidad de los productos, mientras que el último tan sólo hace ver que se cumple la calidad en un determinado momento: cuando se realizaron los ensayos.
3. El aseguramiento de la calidad de los materiales empleados en la reparación del hormigón con base polimérica aparece como una labor harto difícil dada la complejidad y la diversidad de componentes.
4. En relación al párrafo anterior, se está dedicando un esfuerzo por parte del CEN (Comité Europeo de Normalización), en particular por el comité técnico TC 104/WGB, existiendo seis grupos de trabajo. Igualmente, el comité B517/B del Reino Unido y el comité TC-113-CPT de la RILEM están realizando labores dedicadas al mismo fin.