

CONGRESO NACIONAL DE INGENIEROS CONSULTORES

Madrid, 21 y 22 de Octubre de 2002

Sede: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Sesión Cuarta: Nuevos retos del sector de consultores en Ingeniería: Mercados y Sectores Emergentes.

Título:

ANÁLISIS Y USOS DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS LINEALES: EL CASO DE LA AUTOVÍA MONTURQUE-LUCENA, CÓRDOBA.

Autores:

J. C. Hernández del Pozo, Doctor Ingeniero de Caminos. Universidad de Granada.

I. Ocete Ruiz, Licenciado en Ciencias Geológicas. Geotécnica del Sur S.A.

J. Blanco Martín, Ingeniero de Caminos, Jefe de la Sección de Laboratorio. Geotécnica del Sur S.A.

J. Hernández Garvayo, Ingeniero de Caminos, Master. Doctorando Universidad de Granada.

Resumen:

Cada vez con más frecuencia, los grandes movimientos de tierras en las obras de la ingeniería arrastran un problema suplementario, como es el depósito de los materiales desechables que en grandes volúmenes deben ser retirados de obra, siendo cada vez más difícil obtener vertederos apropiados. En las autovías actuales si se intenta no salirse de las prescripciones respecto al uso de materiales en la propia traza, nos estamos encontrando con masas de desecho difícilmente asumibles desde el punto de vista de las condiciones del medio, donde se desarrolla la obra. Sirva de ejemplo, la autoría citada en el título; donde de no acudir a tratar a los materiales como marginales con estudios especiales, como prescribe la circular del MOP de Mayo del 2000, nos encontraríamos con un volumen para llevar a vertedero superior a los tres millones de metros cúbicos, con lo que ello supone.

Es esta comunicación se describen someramente los estudios complementarios sobre estos materiales que se están realizando, de cara a su posible reutilización en el entorno de la traza. Nos encontramos con unos barros de diatomeas, con características de roca blanda, que en los ensayos realizados han dado resultados tan significativos para la alarma, como su baja densidad natural o el valor del ensayo Proctor, alternativamente, con valores próximos a una tonelada por metro cúbico, con límites líquidos superiores a cien.

En la comunicación se alerta sobre la posibilidad de yacimientos importantes por su volumen en el territorio andaluz, así como de su identificación con ensayos conocidos como la difracción de rayos X. Así mismo, se establecen los resultados en la máquina de corte en valores residuales y su comparación con los

taludes existentes en el terreno natural y sus posibles causas junto con las correlaciones con los ensayos de laboratorio debidamente interpretados.

En otro orden de ideas, se presenta una doble alternativa de uso, desde la recuperación de las diatomeas, hasta su uso en terraplenes de menos responsabilidad de los propios de la traza, en obras complementarias, con la presentación de la estabilidad de estos materiales comparada sobre un terraplén de prueba con los coeficientes de seguridad derivados de las previsiones de cálculo sobre ensayos de laboratorio.

El campo para los consultores en este tipo de actuaciones se abre como apasionante, no solo por sus posibilidades de trabajo sino por el riesgo que comporta el uso de los materiales citados.

I.- Introducción

En los últimos años, se ha producido un incremento notable en la construcción de obras lineales al objeto de generar una red viaria netamente “europea” en el conjunto del espacio nacional.

Este desarrollo ha supuesto un esfuerzo económico a nivel nacional, tan de moda y tan criticado en el periodismo nacional, que debe de prever los menores presupuestos económicos posibles sin perder ni un ápice de garantía, calidad y comodidad.

No debemos olvidar, el estricto respeto por un entorno y condicionantes medioambientales de obligado y muy lógico cumplimiento.

Es difícil establecer un balsa de aceite donde flote a un tiempo el trinomio: limitación económica, respeto de las medidas medioambientales y el desarrollo final de obras con garantía, comodidad y calidad.

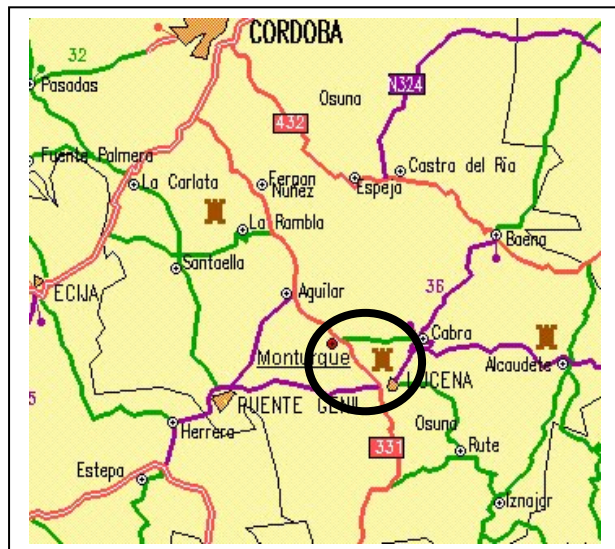
Este hecho hace necesario agudizar, hasta sus máximas cotas, el ingenio y el conocimiento técnico del problema al que nos enfrentamos, para obtener los fines deseados con los resultados más positivos.

En esta situación, es relativamente frecuente encontrarse con un problema muy característico y común durante el desarrollo de construcción de una carretera y es la necesidad de enviar a vertedero auténticas montañas de materiales que no cumplen los requisitos mínimos establecidos en las normativas. Este caso puede verse agravado además con la inexistencia de vertederos adecuados y los requisitos medioambientales.

II.- Obra de Ejemplo

La situación reflejada se pone de manifiesto en las obras que se están desarrollando entre Lucena y Monturque, en Córdoba, perteneciente al tramo Aguilar de la Frontera-Lucena de la Autovía Córdoba-Antequera, que cuenta con un presupuesto de 4.690.000.372, pesetas y tienen un plazo máximo de ejecución de 24 meses, para un tramo de 9,8 kilómetros.

El proyecto se prevé con dos calzadas con dos carriles de 3,5 metros de anchura, arcenes exteriores de 2,5 metros e interiores de un metro. En la mediana, de diez metros, se ha dispuesto barrera de seguridad situándola en el borde de la cuneta central, a tres metros de la plataforma, con objeto de dejar una franja de seguridad fuera de aquélla.



El trazado de la autovía es nuevo en su totalidad, discurriendo próximo a la carretera N-331 actual, sin cruzarla, por su margen derecha, manteniendo la continuidad de ésta.

En el análisis de los posibles impactos ambientales que puedan producir las obras se ha prestado especial interés a la continuidad de las cinco vías pecuarias afectadas y de una "colada", conservando siempre el arbolado existente. La valoración de estas medidas asciende a 127,1 millones de pesetas

También se prevé medidas correctoras para asegurar la permeabilidad a la actividad cinegética en los tres cotos de caza menor que se afectan.

Dado el gran volumen de vertederos previsto, se prevé su ubicación en carreteras abandonadas, huecos de los propios préstamos y zonas con topografía favorable.

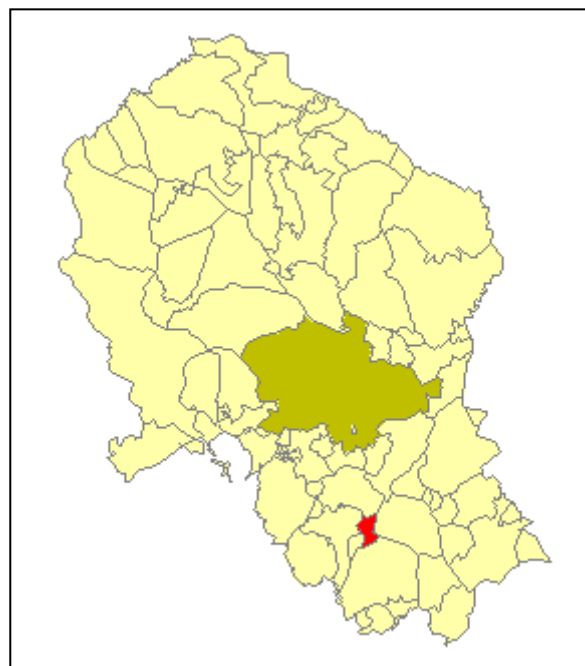
III.- Situación

Las localidades de Monturque y Lucena se sitúan en el Sur de la Provincia de Córdoba.

Aprovechando una pequeña extensión elevada en la campiña Alta, se asienta la localidad de Monturque junto al río cabra.

Su disposición en altura es lo que ha hecho de la zona, el lugar idóneo para asentarse numerosas culturas continuamente desde la prehistoria hasta nuestros días.

Al sur de la provincia, cercana a Sevilla por su lado más occidental está la población de Lucena. Tiene su origen en la Alta Edad Media en el período de ocupación musulmán.



En el siglo XVI Lucena sería una ciudad de señorío y en el XVII aumentó la extensión de la población al unirse al Ducado de Medinacellí.

Como otras poblaciones, Lucena, comenzó su devenir histórico en el Paleolítico pasando también la cultura ibérica.

En el periodo Romano sirvió esta región como centro de producción cerealística, de ahí la presencia de múltiples villas.

IV.- Introducción al Problema

En la autovía de referencia se plantea un problema de dimensiones económicas y paisajísticas de extrema importancia.

Este problema viene derivado de la existencia de unos materiales, que ocupan gran parte de la traza, y definidos en su mayoría, como se verá más adelante, por *suelos de diatomeas*, aunque este último extremo está en estudio y desarrollo por los autores de la comunicación.

La Diatomita, Tierra de Diatomeas o Kieselguhr, corresponde a un suelo de origen vegetal, formado por "crústulas" microscópicas compuestas mayoritariamente de sílice. Este suelo, que tiene un comportamiento geotécnico fuera de lo común y puede encontrarse en varias zonas del país, no cuenta con estudios acabados a nivel nacional.

El objetivo general del estudio es determinar propiedades geotécnicas de este suelo, tanto en condiciones naturales como compactadas.

Para este trabajo se han recopilado antecedentes de experiencias previas del comportamiento geotécnico del suelo de Diatomeas, los cuales indican algunos resultados relevantes como:

1. Para tensiones efectivas bajas se tiene un ángulo de fricción interno alto y cohesión nula.
2. A grandes tensiones las diatomitas pueden quebrarse por lo cual pueden llegar a ser altamente compresibles, etc.

Además, se realizan nuevos ensayos para caracterizar con más detalle las Tierras de Diatomeas, los cuales son: Ensayos de consolidación para probeta remoldada y probeta natural, Ensayo Proctor Modificado, Ensayos triaxiales CIU, CIU con ciclo de carga, cíclicos y CID con carga controlada Ensayo de Carga Isótropa, Clasificación USCS, SPT, Ensayo de Velocidad de Ondas, Estratigrafía, Granulometría, Ensayo de Compresión no Confinada, Microanálisis, entre otros.

Esta situación hace necesario, de no definir estos materiales como marginales con sus correspondientes estudios especiales según indica la *Orden Circular 326/00*, proceder a eliminar a vertedero un volumen de aproximadamente 3 millones de metros cúbicos de suelos, con el evidente perjuicio económico y ambiental.

Los estudios que se están desarrollando en este momento pasan necesariamente por los trabajos imprescindibles para determinar su posible reutilización en las obras que se están desarrollando.

V.- Entorno geológico y conocimiento de su ubicación

Lejanamente a lo supuesto inicialmente, los materiales referidos no son exclusivos de la obra comentada, sino que aparecen en gran parte del paisaje andaluz.

Las sierras que ocupan el Sur de la Provincia de Córdoba pertenecen al conjunto de las Sierras Subbéticas situadas entre la Depresión del Guadalquivir al Norte y la Cordillera Penibética al Sur. De esta última están separadas por un corredor longitudinal compuesto por una sucesión de hoyas y depresiones que forman la llamada Depresión Penibética.

Las Sierras Subbéticas Cordobesas se encuentran en la parte central de las Subbéticas, enmarcadas en el interfluvio de dos ríos, el Genil y el Guadajoz.

Geológicamente, las Subbéticas Cordobesas, forman parte de lo que se ha dado en llamar el Subbético Externo de las Cordilleras Béticas y responden a una superposición de mantos de corrimiento de pliegues alóctonos. Se diferencian dos dominios:

1. Dominio Subbético Externo Septentrional (Unidad de Cabra).
2. Dominio Subbético Externo Meridional (Unidad de Gaena o Carcabuey).

Hace más de un siglo se definieron con el nombre de “*moronitas*” los sedimentos miocenos de la Cuenca del Guadalquivir que incluyen gran cantidad de diatomeas además de otros microfósiles silíceos (espículas de esponjas, silicoflagelados y algunos radiolarios). También contienen microfósiles calcáreos, básicamente microforaminíferos y nanoplacton.

Tales rocas tomaron el nombre de la localidad de Morón de la Frontera.

En relación con su contenido en diatomeas los estudios realizados son escasos y están enfocados fundamentalmente a la taxonomía y a la datación bioestratigráfica.

Las asociaciones de diatomeas en estas rocas están constituidas fundamentalmente por especies planctónicas de aguas templado-cálidas, con predominio de *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassionema bacillaris* y *Thalassiothrix longissima*, que aparecen preferentemente en áreas marinas con corrientes ascensionales. Son abundantes también las diatomeas pertenecientes a los géneros *Denticulopsis*, *Crucidentricula*, *Coscinodiscus* y *Thalassiosira*.

En la actualidad, se ha abordado un nuevo aspecto del estudio del contenido en diatomeas de las “*moronitas*”, con un estudio cuantitativo de aquellas especies de

diatomeas o grupos de especies con suficiente representatividad para un estudio estadístico.

VI.- Definición y características paleontológicas de las diatomeas.


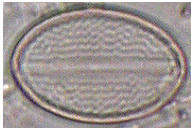



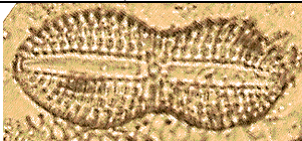




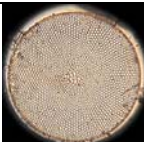




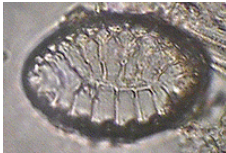

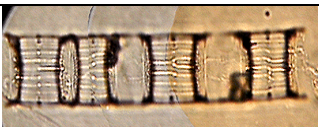
Las diatomeas son algas de formas y tamaños variados. Hay aproximadamente 5.000 especies de Diatomea, todas ellas compuestas por una pared celular transparente, con una capa externa traslúcida de sílice semejante al cristal y una capa interna de pectina (sustancia neutra que forma soluciones coloidales).

Cuando la célula muere todo el contenido orgánico del protoplasto y de la pared celular se destruye, con excepción de las valva silicosas, las cuales generalmente van a depositarse al fondo de las aguas, para formar al cabo de siglos grandes depósitos de tierra de diatomeas. Esos depósitos se denominan diatomitas.

Las cualidades de la tierra de diatomeas son a la vez extrañas y variadas: es agente de purificación, filtrado, abrasivo, material aislante y a prueba de sonido.

Las representantes marinas presentan un rango de tamaño que fluctúa entre 50 y 500 μm (Microplancton).

Los principales tipos de diatomeas se representan a continuación:

BIDDULPHIALES (CENTRALES)	BACILLARIALES (PENNALES)
<i>Actinoptichus</i>	<i>Cocconeis</i>
	
<i>Asteromphacus</i>	<i>Cymbella</i>
	
<i>Bacteriastrum</i>	<i>Diploneis</i>
	
<i>Biddulphia</i>	<i>Fragilaria</i>
	
<i>Chaetoceros</i>	<i>Navicula</i>
	
<i>Coscinodiscus</i>	<i>Nitzschia</i>
	
<i>Ditylum</i>	<i>Pleurosigma</i>
	
<i>Eucampia</i>	<i>Surirella</i>
	
<i>Hemiaulus</i>	
	
<i>Skeletonema</i>	
	

VII.- Definición y características petrológicas, mineralógicas e industriales.

La diatomita es un mineral de origen sedimentario y organogénico, de composición silíceo, formado esencialmente por frústulos de diatomeas.

La Diatomita pura está compuesta por ópalo, que en caso de ser suficientemente antigua pasa a cuarzo, tratándose en ambos casos de polimorfos. El mineral por lo general es de coloración clara, blanquecino, con una densidad aparente de 0,2 a 0,6 g/dm³ y de gran porosidad. El contenido de agua libre puede variar desde menos del 1% g/g, hasta más del 60% g/g. La dureza de esta es de 7 (en una escala que coloca al diamante en 9).

Las importantes propiedades Filtrantes, Decolorantes, Aislantes, Absorbentes y Astringente que caracterizan a las Diatomeas, están dadas por su composición química, pero fundamentalmente por la presencia de multitud de microporos en las frústulas de diatomeas. El mayor porcentaje de frústulas sanas, respecto de rotas o trituradas se encuentra íntimamente ligado con la capacidad filtrante, decolorante y de absorción.

El punto de fusión de las diatomeas se encuentra generalmente entre 1.500° y 1.600° C. Para ciertas calidades impuras el punto de fusión desciende, entre los 1.200° a 1.300° C. El punto de reblandecimiento se halla vecino a los 1.100 °C.

La Diatomea con grado de porosidad elevada o de gran poder absorbente, es muy importante en cuanto a sus cualidades como aislante. Este poder de absorción se determina mediante la diferencia de agua absorbida y puede ser traducida de peso o como coeficiente de absorción que constituye la expresión en centímetros cúbicos de agua absorbida por gramo de producto seco.

Como consecuencia de su coeficiente de conductibilidad extremadamente reducido, y la resistencia permanente a las temperaturas más variable, la Diatomita llega a formar el aislante más racional y más ampliamente utilizado.

Las Diatomeas usadas como nuestra materia prima varían aproximadamente dentro de los siguientes parámetros:

Químicos	%	%
SiO ₂	72..60	68.9
Al ₂ O ₃	5.3	4.9
Fe ₂ O ₃	2.0	5.2
OK ₂	0.1	0.4
MgO	0.6	0.4
Na ₂ O	0.3	1.2
CaO	3.6	2.4
P.P.C (Pérdida por calor)	15.4	16.3

VIII.- Estudio especial y trabajos realizados.

Los ensayos realizados para determinar las características de estos suelos son los siguientes:

- Granulometría por tamizado. NLT-104/91

La muestra se clasifica como un Limo inorgánico de alta plasticidad, con un paso por el tamiz N°200 del 97.67 % y paso por el tamiz N°4 del 99.95%.

El porcentaje de gravas es del 0.22 %, el de arenas del 2.10 % y el de finos del 97.69%.

- Límites de Atterberg. NLT-105 Y 106/ 91

Los límites de Atterberg denotan un material de muy alta plasticidad alcanzando valores de límite líquido de 109.16% y límite plástico oscilante entre 62.46% y 46.70%.

- Determinación del peso específico de las partículas. NLT-211/91

El valor del peso específico obtenido para las muestra ensayadas refieren un valor de 2.682 gr/cm³.

- Proctor Normal. NLT-107/91

El Proctor normal ha definido valores de densidad máxima de 0.96 gr/cm³ y humedad optima del 58.70%

- Proctor Modificado. NLT-108/91

Por su parte, el Proctor modificado refiere un valor de 1.04 gr/cm³ de densidad máxima y una humedad optima del 48.20%

- Equivalente arena. NLT-113/87

Como era de esperar el equivalente arena obtenida es muy bajo y de valor 6.

- Ensayo de rotura a compresión simple de probetas de roca. NLT-250/91

El valor de compresión simple obtenido ha sido de 5.87 kg/cm², mientras que los valores de humedad típicos han sido de 7.16%.

La densidad seca obtenida es de 0.93 gr/cm³ y la natural de 1.00 gr/cm³.

- Determinación del índice de resistencia a la carga puntual. NLT-252/91

El valor de índice de resistencia obtenido ha sido de 10.28 KN/mm

- Ensayo de colapso en suelos. NLT-254/99

El ensayo de colapso ha determinado un Índice de Colapso del 0.646% y un potencial porcentual del 0.632%.

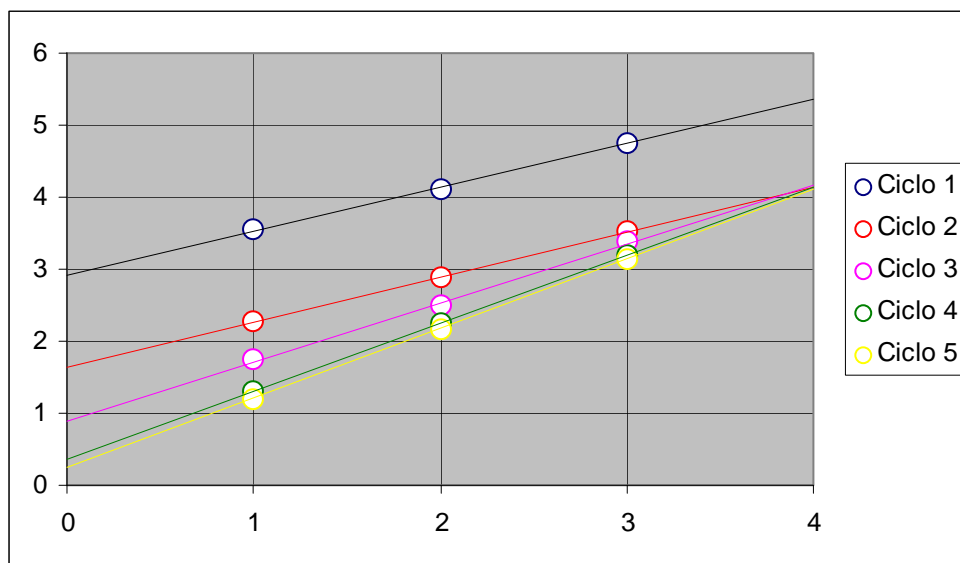
- Estabilidad de los áridos y fragmentos de roca frente a la acción de desmoronamiento en agua. NLT-255/99

Los valores obtenidos hacen referencia al siguiente esquema:

Fracción retenida por el tamiz ASTM	Perdida total (%)	Granulomet. original	Perdida media (%)
4	66.01	28.50	18.81
8	72.60	18.58	13.49
16	77.44	20.17	15.62
30	75.40	13.43	10.13
50	66.42	8.49	5.64
80	64.53	10.81	6.98
Perdida total acumulada			70.66

- Determinación de los parámetros resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo. UNE 103 401.

Se ha realizado el ensayo sobre muestra no remoldeada, de tipo CU, con cinco ciclos de rotura cuyos valores se reflejan en el siguiente diagrama:

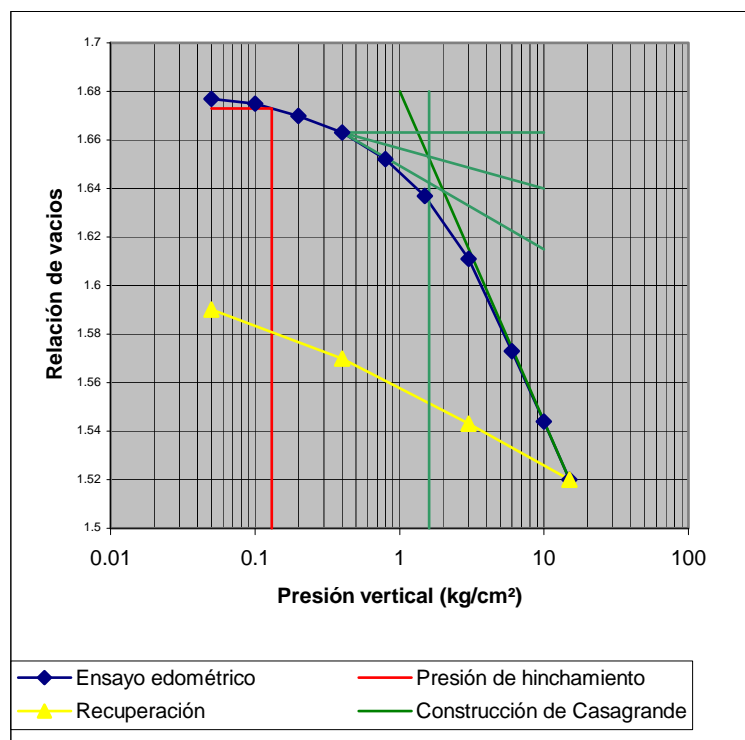


Igualmente, se ha realizado un ensayo sobre muestra remoldeada, al 100% del Proctor Normal, y de tipo CU, cuyos valores obtenidos son los siguientes:

1er ciclo	ϕ	31.71
	C	0.30
2º ciclo	ϕ	30.12
	C	0.23
3er ciclo	ϕ	29.17
	C	0.18
4º ciclo	ϕ	22.31
	C	0.07
5º ciclo	ϕ	19.18
	C	0.02

- Ensayo de consolidación unidimensional de un suelo en edómetro. UNE 103-405-94

Los valores obtenidos se detallan en el siguiente gráfico:



- Determinación de la expansividad de un suelo en el aparato Lambe.

En el ensayo Lambe se ha obtenido un Índice de hinchamiento de 0.21 kp/cm^2 , Cambio potencial de volumen de 0.10 y una valoración de no crítica.

- Difracción de Rayos X

La aplicación fundamental de la Difracción de Rayos X es la identificación cualitativa de la composición mineralógica de una muestra cristalina. La difracción está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando una

radiación monocromática atraviesa una rendija de espesor comparable a la longitud de onda de la radiación.

El difractograma realizado refleja que la muestra posee principalmente calcita, cuarzo y una arcilla de la familias de las esméticas (probablemente Beidellita o Nontronita).

La calcita es más abundante que el cuarzo y éste a su vez parece más abundante que la esmética.

No obstante, si se tiene en cuenta el bajo poder reflectante de la esmética, el pico que aparece en la difracción puede representar que este mineral tenga una relativa abundancia de la muestra (incluso superior al cuarzo).

Los contenidos estimados son aproximadamente los siguientes, que habrán de ser comprobados en sucesivos ensayos:

- Carbonatos 40%
- Sílice 30%
- Esméticas 30%

Como resumen de los materiales estudiados se pueden plantear las siguientes consideraciones.

- Abundancia de materiales finos.
- Muy elevada plasticidad.
- Clasificados como limos de alta plasticidad.
- Parcialmente resistentes a la compresión simple por su elevada cementación, que le confiere una textura rocosa.
- Deterioro muy acusado a la acción del agua.
- Densidades máximas muy bajas y humedades óptimas muy altas, realizadas en ensayos de compactación.
- Muy elevado poder de succión.
- Colapsos poco importantes, al menos para cargas de 2 kg/cm², debido a la cementación referida.
- Parámetros resistentes variables si nos referidos a muestra intacta y muestra remoldeada.
- En muestra intacta ángulos de rozamiento elevados, tanto en valores pico como residuales, y elevada cohesión.
- En suelos remoldados existe una clara variación entre los ángulos pico y residuales (31.7° y 19.2), para cohesión iniciales de 0.3 kg/cm².
- Presenta un módulo de confinamiento o edométrico bajo para presiones oscilantes entre 1 y 3 kg/cm², presiones de hinchamiento bajas y preconsolidación de 1.55 kg/cm².
- Se han medido índices de poros muy elevados.
- Se detectan abundantes arcillas del tipo esmectítico en la muestra ensayada, que puede ser la responsable de la plasticidad detectada.

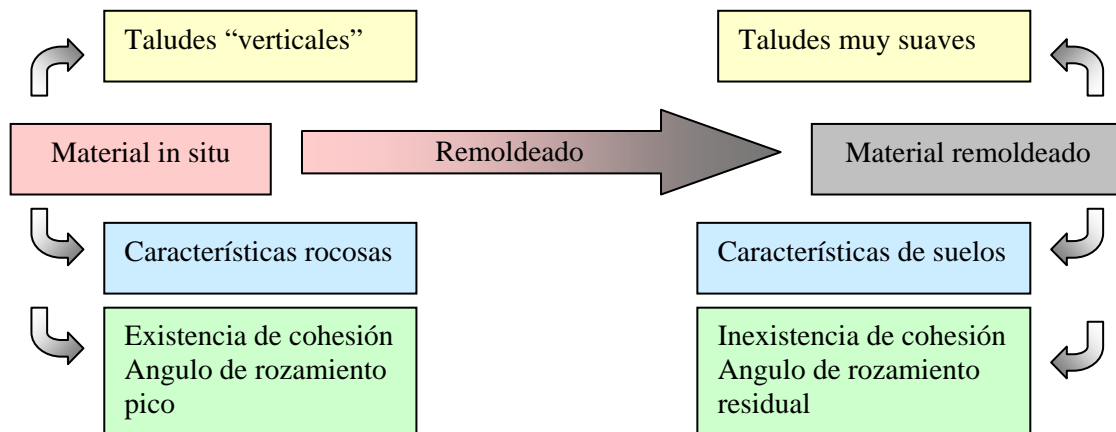
En principio la muestra ensayada puede ser definida como una diatomita, pero con características propias, como es la elevada proporción de carbonatos detectados.

IX.- Conclusiones y recomendaciones.

Con todos los datos expuestos hasta el momento podemos afirmar que nos encontramos frente a un material, que a todas luces, debe de ser clasificado como un suelo de tipo *marginal*, con unas connotaciones tan singulares que hace que de no proceder a su correcto estudio deba de ser retirado a vertedero.

Estos barros de diatomeas presentan unas características definidas principalmente por unas densidades máximas inferiores a la del agua y elevadísimas plasticidades, pero con unas características naturales in situ de roca blanda y que genera, en situaciones favorables, taludes muy verticales. Esta situación define valores en el ensayo de corte directo, para estados residuales, de ángulo de rozamiento interno de aproximadamente 19° , prácticamente exenta de cohesión, frente a taludes naturales de edad reciente prácticamente verticales. Esta controversia entre taludes naturales y valores de laboratorio debe ser explicada a la luz de la cementación que presentan los barros de diatomeas, en estado seco, y que desarrollan fenómenos de cohesión y le confieren características “pseudorocosas”. Este matiz rocoso desaparece, en el momento que estas diatomeas se excavan y remoldean para ser utilizadas como suelos para terraplén.

De esta forma se puede establecer el siguiente esquema:



Todas las características referidas las alternativas de uso de estos materiales pasan necesariamente por alguna de las siguientes alternativas:

1. Retirada a vertedero.
2. Recuperación de estos barros de diatomeas con otros fines ajenos a la obra referida (p.e. usos industriales).
3. Uso, debidamente justificado, en los terraplenes de menor entidad de obras complementarias, pertenecientes a la propia autoría.

Descartamos, como se ha comentado largamente, la retirada a vertedero por el evidente perjuicio económico y medioambiental que se puede generar.

La segunda solución o alternativa planteada escapa fuera del entorno de esta comunicación y solo estaría justificada por el correspondiente estudio económico y de viabilidad de la explotación.

La última opción es sin lugar a dudas la más adecuada y por ende la más deseada, pero solamente puede ser adoptada si el correspondiente estudio de estabilidad de estos materiales y el consiguiente coeficiente de seguridad así lo establece.

Así se ha hecho en este caso, para lo cual se ha desarrollado un “terraplén de prueba” ubicado en la propia obra al objeto de determinar sus características, y de una altura de 5 m.

Con los datos obtenidos de la observación de este terraplén, las condiciones de estabilidad de estos suelos comparada con los coeficientes de seguridad obtenidos de cálculo con los parámetros obtenidos en los ensayos de laboratorio, apuntan a ser suficientes para terraplenes de pequeña o mediana importancia.

Independientemente de esta consideración se han planteado nuevos seguimientos al terraplén desarrollado al objeto de determinar todos los condicionantes a los que estará sometido y su comportamiento a estos.

Estos seguimientos son los siguientes:

- a.- Recrecimiento del terraplén hasta una altura máxima de 10 m. y con la geometría propia para su desarrollo.
- b.- Seguimiento topográfico al objeto de medir los asentamientos que se produzcan en el cuerpo del terraplén.
- c.- Realización de al menos un sondeo a rotación y testigo continuo que definan las características georesistentes de los materiales puestos en obra.
- d.- Seguimiento de la estabilidad de los taludes.
- e.- Sometimiento a procesos de saturación o inundación tratando de reflejar las características de periodos de lluvias máximas al objeto de estudiar su comportamiento.
- f.- Estudio estadístico y definición de las pendientes de los taludes naturales existentes en campo.
- g.- Estudio estadístico y definición de las pendientes de los taludes artificiales existentes en campo y su relación estabilidad / tiempo.

A la espera de obtener más datos, la situación desarrollada en dicho terraplén de prueba parece indicar, a priori, la suficiente estabilidad y seguridad para su uso en el núcleo de terraplenes, con las correspondientes medidas complementarias.

Sin los estudios que se han realizado y los que se ejecutan actualmente los suelos referidos, como materiales con una alta proporción de barros de diatomeas, hubiesen ido irremisiblemente trasladados a vertedero siguiendo las prescripciones marcadas por la normativa vigente.

Estos materiales, lejos de lo que pudiera parecer, se pueden localizar en amplias zonas coincidentes con los márgenes de la Cuenca del Guadalquivir, por lo que

sería necesario un correcto estudio que pueda ser, en la medida de lo posible, extensible a otras zonas similares.

El campo de investigación que se plantea, al objeto de utilizar materiales caracterizados como “*Marginales*” es inmenso. No debemos olvidar que gran parte de los materiales aflorantes en el entorno del sur nacional, se clasifican como suelos marginales.

Este campo, de teóricamente reciente desarrollo, presenta dos vertientes: el amplio campo de investigación geotécnica y el riesgo añadido que presenta su uso. Se abre un ámbito de futuro de dimensiones laborales desconocidas en el entorno de la ingeniería civil, que habrá de requerir de técnicos altamente especializados y de contrastada experiencia en todos los conjuntos que desarrolla la geotecnia.

X.- Bibliografía.

- ADMIRAAL, W. (1974). *Experiments with mixed populations of benthic estuarine diatoms in laboratory ecosystems*. *Botanica Marina*, 20: 479-485.
- ALVIRA, M.P., AND HOVASSE, R., 1975. *Contribution a l'étude des Protistes a squelette siliceux des Moronitas du sud de l'Espagne*. *Estud. Geol.*, 31:705-725.
- BENÍTEZ RANGEL EDAENA. *Asesores: Biól. Ma. Del Rosario Fernández Barajas y Biól. Roberto Rico Montiel. Diatomeas fosiles de las fases tempranas Ddl Paleolago Tlaxcala, Mina El Lucero Laboratorio de Geología y Paleontología, FES Iztacala, UNAM*
- BERTRAND, J (1990). *La vitesse de déplacement des diatomées*. *Diatom Research*, 5(2): 223-239.
- COLOM, G. Y GAMUNDI, J. 1951. *Sobre la extensión e importancia de las "Moronitas" a lo largo de las formaciones aquitano-burdigalienses del estrecho nort-betico*. *Estudios Geológicos*, 14, 331- 385
- HOPKINS, J, T. (1963). *A study of the diatoms of the Ouse Estuary, Sussex. (I). The movement of mudflat diatoms in response to some chemical and physical changes*. *Journal of the Marine Biological Association, U.K.*, 43: 653-663.
- JÖNSSON, B, SUNDBÄCK, K. & C. NILSSON (1994) *The upright life of an epipelagic motile diatom: on the behaviour of Gyrosigma balticum*. *Eur. J. Phycol.* 29:11- 15
- LÓPEZ GARCÍA M.J.. *Revisión taxonómica del contenido en diatomeas de las moronitas: clase Coscino-discophyceae, I.(Pág. 107-130) Revista Española de micropaleontología Volumen 29, Septiembre-Diciembre, Número 3*
- MORZARIA-LUNA, H., D.A. SIQUEIROS-BELTRONES Y G. DE LA CRUZ-AGÜERO. *Análisis de la distribución espacial de asociaciones de diatomeas bentónicas a diferentes niveles de suficiencia taxonómica*.
- ROUND, F, E. (1971). *Benthic marine diatoms*. In: *Oceanography and Marine Biology Annual Review.*, (Editor, H. Barnes), 9: 83-139. George Allen & Unwin Ltd, London.

XI.- Agradecimientos.

A la Fundación Empresa – Universidad de Granada y a la UTE SACYR-AZVI, que con su apoyo han hecho posible la recogida de datos de este trabajo, así como a Geotécnica del Sur S.A. que ha prestado su colaboración para el desarrollo del estudio desde su laboratorio.