

DISPOSICIÓN DE TIERRAS EMPETROLADAS

Antonio Paez Dueñas - Emilio Moreno Martínez - Silvia Mónica Zemborain

Repsol-YPF

Introducción:

En las zonas de producción de petróleo, el tema de la disposición hidrocarburos de fondo de tanques, se trata de manera tal de considerar en primera instancia la máxima recuperación de hidrocarburos.

Cuando esta alternativa no es viable, se contempla la disposición de dicho fondo en caminos mediante su mezclado con áridos para obtener un material libre de fluidos y con una compactación adecuada que asegure una adecuada estabilidad física y química.

En la Región Sur se cuenta con una gran cantidad de tierras mezcladas con vertidos de petróleo o con fondo de tanques. Estas tierras se van acumulando en depósitos al aire libre y después se extienden a lo largo de los caminos constituyendo el firme de los mismos. Esta solución tiene un costo aproximado de 20 pesos por m³. Los caminos están compuestos por 2 capas de 20 cm. de espesor, cada una constituida por tierra mezclada con hidrocarburos a la que se ha añadido un 3% de cemento. La extensión se realiza con motoniveladoras. En la superficie de la capa superior se extiende una monocapa de canto rodado y se compacta.

Existe otra solución posible consistente en incinerar las tierras, eliminando todos los hidrocarburos y volviendo a extender las tierras limpias. Esta solución cuesta aproximadamente 180 pesos/ m³. Debido al alto costo de la incineración, es necesario contar con una solución alternativa.

Adicionalmente se plantea que la duración de los caminos es de solo un año y sería muy conveniente que se pudiera alargar su vida.

La Subsecretaría de Medio Ambiente de Santa Cruz está exigiendo, de acuerdo con la Ley 24051, que se asegure que las tierras no son peligrosas ni contaminantes. Esencialmente se trata de presentar el análisis de las mismas sobre la base de los cuales decide si las tierras son contaminantes o no y da o deniega el permiso para su extensión.

La Dirección de Tecnología de Repsol- YPF, a petición de la Unidad de Negocios de Exploración y Producción de Argentina, ha realizado un estudio para realizar estabilizaciones de varios materiales granulares con emulsión bituminosa súper estable tipo ECL-2.

La finalidad de estos tratamientos, es la de obtener un pavimento con ciertas garantías de durabilidad y al mismo tiempo el aprovechamiento y reciclaje de materiales contaminados con vertidos o fondos de tanque de las zonas de extracción de crudo en Argentina.

Desarrollo:

La Resolución 115/92 de la Secretaría de Energía de la provincia de Santa Cruz en vigencia actualmente indica que:

El tema de la disposición hidrocarburos de fondo de tanques, se trata de manera tal de considerar en primera instancia la máxima recuperación de hidrocarburos a través de la incorporación de los mismos a la corriente de petróleo que entra a la planta de tratamiento. Cuando esta alternativa no es viable, se contempla, entre otras, la alternativa de eliminarlos utilizándolos para la consolidación de caminos, sin detallar un nivel de exigencia desde el punto de vista ambiental.

No obstante según un anteproyecto de reforma de dicha disposición con texto acordado el 18/8/99, (que contempla también el derrame de hidrocarburos) detalla el traslado de dichos fondos y suelos empetrolados a un sector de acopio donde se procederá al mezclado con áridos para obtener un material libre de fluidos que se dispondrá en caminos.

Tales caminos serán solamente aquellos internos de yacimiento, fuera de áreas urbanas, fuera de planicies de inundación de ríos o arroyos, en áreas que no estén expuestas a erosión hídrica activa y, en general de baja sensibilidad ambiental. El material será distribuido en pilas a lo largo del camino y se usará una motoniveladora para disponerlo en capas sucesivas que se compactarán con equipo vial. Sobre el material se hará un muestreo extrayendo al menos 3 muestras cada 5 Km de distancia. En los lixiviados de las muestras de mezcla ya dispuesta se verificará el cumplimiento de los valores que se especifican en la Tabla I. En caso de detectar valores superiores a los indicados se efectuará un reproceso de la mezcla.

Desde el punto de vista ambiental las exigencias técnicas pueden resumirse:

- Un material libre de fluidos y con una compactación adecuada que asegure una adecuada estabilidad física y química.
- Un material que no exude hasta temperaturas superiores a 40°C al menos.
- Un material con un pH mayor a 6 (Son esperables valores alcalinos 8 - 9)
- Un material que asegure que los lixiviados de la muestra de suelo cumpla con los valores especificados en el ítem de aspectos legales detallado anteriormente.

Una vez visto el problema sobre el terreno, se propone estudiar la posibilidad de realizar un tratamiento denominado estabilización de suelos con emulsión, consistente en mezclar las tierras con una emulsión asfáltica, y extender y compactar la mezcla resultante. Eventualmente una solución alternativa podría ser mezclar las tierras con cemento y emulsión y extender y compactar la mezcla resultante. Se espera que en estos tratamientos el asfalto procedente de la emulsión bituminosa actúe como encapsulador de las tierras y evite la lixiviación de los posibles elementos contaminantes.

No existe una gran experiencia en la realización de estos tratamientos por lo que hay que llevar a cabo un estudio previo riguroso para determinar si dichos tratamientos son posibles o no. Este estudio consistiría en:

- Estudios de Laboratorio.

- Desarrollo de la Puesta en Obra

Estudios de Laboratorio

Mediante estos estudios se deberá determinar si las mezclas de tierras con emulsiones y las mezclas de tierras con cemento y emulsión presentan una resistencia mínima. Si esto no fuera así, el tratamiento no se puede realizar. Otro objetivo de estos estudios es establecer el contenido óptimo de emulsión y agua de humectación.

También es necesario realizar estudios de lixiviación para asegurarse de que la hipótesis de partida, encapsulamiento de las tierras, se cumple.

En este sentido se han analizado tres tipos diferentes de material:

- Tierras mezcladas con vertidos de petróleo
- Tierras mezcladas con fondo de tanques
- Tierras mezcladas con fondo de tanques y cemento.

Tradicionalmente, estos materiales se han utilizado en pavimentación, realizando una estabilización con cemento. Con la utilización de emulsión y/o conglomerante hidráulicos tipo cal o cemento, se pretende mejorar la calidad de las mismas.

De las muestras estudiadas se han elegido las que no tienen cemento para las mezclas con emulsión. La muestra con cemento se ha descartado ya que el cemento presente en la muestra ha sufrido un proceso de fraguado con la humedad que no se puede determinar.

En primer lugar, se realizó una extracción de las muestras para determinar el contenido y consistencia de los hidrocarburos presentes en ellas. Los resultados se recogen en las Tablas II y III. Las granulometrías obtenidas (Tabla II), aunque son muy amplias, entran dentro de las especificaciones manejadas por las distintas oficinas de Normalización.

En la extracción de ligante de las muestras, se ha intentado determinar la consistencia del mismo mediante el ensayo de penetración pero ha sido imposible, ya que resulta demasiado fluido a temperatura ambiente, como por otro lado cabría esperar por su procedencia. El producto extraído en las dos muestras utilizadas es un líquido oscuro posiblemente petróleo.

Medida de la resistencia mecánica del tratamiento con emulsión bituminosa. Ensayo de Inmersión-Compresión.

El ensayo de Inmersión-Compresión mide la pérdida de cohesión de una mezcla compactada por efecto del agua. Se utiliza para determinar la adhesividad betún-árido. Es el ensayo utilizado para determinar el mínimo de emulsión compatible con una buena resistencia mecánica de las mezclas densas en frío.

$$\text{Resistencia conservada (\%)} = \frac{R_{\text{después - de - inmersión}}}{R_{\text{antes - de - inmersión}}} \times 100$$

El método consiste en romper a compresión simple dos series de probetas cilíndricas idénticas y que se han compactado mediante la aplicación de una carga durante dos minutos.

Una de las series (4 probetas) se conserva al aire a 25°C y otra en baño de agua a 60°C ambas durante 24 horas. Pasadas las 24 horas se sumergen todas las probetas en agua 2 horas a 25°C, pasadas las cuales se ensayan a compresión simple.

El efecto del agua sobre la mezcla se obtiene comparando las resistencias medias antes y después de inmersión mediante la expresión:

No existen criterios claros de dosificación de las mezclas de suelos utilizando el ensayo de Inmersión-Compresión. Para estabilizaciones de suelos, según el pliego de Castilla y León la resistencia mecánica tras inmersión debe ser superior a 350 Kp (4,32 Kg./cm²), mientras que en el Pliego Español del año 1976 se exigen 6,2 Kg./cm² de resistencia después de inmersión.

Debido a esta falta de criterios se decidió establecer unos criterios propios razonables que permitieran discriminar entre los diferentes resultados y establecer el óptimo de ligante. Para ello se decidió que la resistencia mínima en seco aceptable fuera de 6,2 Kg./cm² y la resistencia tras inmersión fuera de al menos el 50% de la resistencia en seco.

Previamente se había intentado dosificar solamente con emulsión pero la cohesión era tan mala, que ni siquiera se pudieron desmoldar las probetas sin que se rompieran, por lo que no puede realizarse la estabilización de los suelos recibidos solamente con emulsión.

Centrándonos en la Tabla IV podemos ver los resultados obtenidos con un 2% de cemento (identificación 8) que es lo utilizado actualmente, con un 1,5% de cal y diferentes porcentajes de emulsión (identificación 1 a 3) y con 2% de cemento y diferentes porcentajes de emulsión (identificación 4 a 6). Además se realizó otro punto solamente con cemento curando las probetas en una cámara de curado de hormigón para ver si se obtenía una resistencia adicional.

Como puede observarse en los resultados obtenidos, utilizando solamente cemento se conseguirían obtener las resistencias que se han pedido. Sin embargo, la adición de emulsión incrementa espectacularmente las resistencias obtenidas hasta el momento.

Esto significa que su resistencia mecánica, y por lo tanto su durabilidad en servicio, es mucho mayor que con cemento solo. Así las resistencias en seco como mínimo se doblan mientras que las resistencias después de inmersión tienen un incremento significativo. Comparando las probetas fabricadas con cemento con las que tienen cal, podemos ver cómo las resistencias de las mezclas con cemento tanto en seco, como después de inmersión, como conservadas son muy superiores a las que tienen cal. Esto significa que para realizar el tratamiento es preferible utilizar cemento a utilizar cal.

En cuanto a los óptimos, en la tabla IV podemos ver que con un 2% de cemento y un 3% de emulsión (el mínimo contenido posible de ligante) se obtienen las resistencias necesarias por lo que ese es el óptimo recomendado.

En cuanto al suelo conglomerado sin cemento, los resultados se recogen en la tabla V. En este caso, y debido a los resultados anteriores, se pasó a utilizar solamente cemento obviando la cal.

Comparando la identificación 13 con la 10, 11 y 12 se puede observar cómo es necesario utilizar cemento para conseguir un mínimo de resistencia. Sin embargo observando las identificaciones 14 y 15 vemos cómo la adición de emulsión perjudica las resistencias tanto en seco como después de inmersión con respecto a si se utilizara sólo cemento. Esto es debido a la naturaleza del suelo. A lo mejor con suelos de otra procedencia, podría haberse obtenido mejores resultados.

Ensayos de lixiviación.

Sobre las mezclas de tierras y emulsión se han realizado ensayos de lixiviación sometiendo a las probetas compactadas (1900gramos) a reflujo con agua (2 litros) durante 24 horas, tras lo cual el líquido resultante se ha analizado para determinar los metales e hidrocarburos que ha arrastrado el agua de la mezcla. Los resultados se encuentran en Tabla VI

En primer lugar no se aprecian arrastres de hidrocarburos ni en el combinado cemento + emulsión ni con cemento exclusivamente

Como puede observarse, de todos los metales analizados solamente se lixivian en las muestras sin tratar B, Ba, Ca, Fe, K, Li, Mg, Na, Ni y Sr. Sin embargo, todos estos metales parecen producirse como consecuencia del tratamiento con cemento.

Una vez tratadas las muestras con emulsión conseguimos encapsular el Fe, Li y Mg, que se producen como consecuencia del tratamiento con cemento, es decir, su concentración en el agua de lixiviación es igual a la del blanco. En cuanto a los otros, se consigue disminuir su concentración en el agua de lixiviación.

En todos los demás casos el contenido de metales se mantiene, o aumenta, después del tratamiento con cemento o con emulsión más cemento. Esto significa que no hay un encapsulamiento efectivo puesto que no hay nada que encapsular en la muestra.

Queremos decir que en otros casos sí se utiliza las emulsiones para encapsular contaminantes en suelos contaminados. Por ejemplo existe un procedimiento finlandés denominado Ekostab en que se utilizan emulsiones bituminosas para encapsular suelos contaminados con metales pesados.

Desarrollo de la puesta en obra

En primer lugar, y para asegurar la mejor calidad del tratamiento, es muy recomendable utilizar los medios mecánicos necesarios para obtener materiales homogéneos. Esto implica el uso de plantas de mezcla en frío donde se puede dosificar tanto el cemento como la emulsión de forma correcta y asegurar una buena dispersión de ambos. Estas plantas son

equipos muy sencillos y baratos, que constan normalmente de tolvas para el árido, cintas transportadoras y un cajón mezclador de aspás. En cuanto al extendido, el material acopiado en la planta se transporta en camiones y la aplicación se puede realizar con motoniveladora y posterior compactado preferentemente con rodillo metálico vibratorio o mixto.

Es importante que la distribución de los fondos de tanque o vertido en el material a tratar sea la mejor posible, por lo que es necesario el empleo de medios mecánicos para asegurar este aspecto. En caso contrario nos podemos encontrar con zonas donde la presencia de grandes concentraciones de crudo produzcan blandones en el firme.

Existe otra variante que consiste en la realización in situ del tratamiento. El proceso de mezclado se realiza extendiendo con motoniveladora el material sin tratar para posteriormente aplicar los aglomerantes y mezclar con equipos rota-vapor, fresadoras-mezcladoras, etc. La eficacia de esta técnica es menor que en el caso anterior, pero es más económica.

Otro aspecto a tener en cuenta es la calidad de la emulsión. En el presente estudio se ha empleado una emulsión catiónica lenta.

El ligante utilizado en principio es un betún de destilación parafínico convencional cuya penetración puede oscilar entre 70 y 150. A mediano plazo, y si la distribución del crudo es uniforme, es posible que el betún de la emulsión se mezcle parcialmente con el crudo, con lo que es mejor la utilización de betunes más bien 70-80 en la fabricación de la emulsión.

La combinación de emulgentes utilizada confiere una velocidad de rotura a la emulsión muy lenta. Esta emulsión pasa perfectamente la mezcla con cemento y en ensayos de rotura con finos da valores altos. Para el caso de tratamientos de materiales muy finos o arcillosos son las más indicadas, ya que permiten el correcto mezclado de la emulsión con el árido sin que se produzcan fenómenos de rotura rápidos, que impedirían la utilización y manipulación de la mezcla. Finalmente, tras el extendido, la compactación produce la rotura final de la emulsión y el principio de la evacuación del agua. El proceso de rotura y curado de la emulsión depende de numerosos factores, pero los principales son la naturaleza propia del material y la climatología.

Cuando se quieren utilizar materiales arcillosos o plásticos, con alto contenido de finos, es conveniente la utilización de esta misma emulsión, pero rebajada su concentración hasta un 40%, con el fin de facilitar la dispersión de la misma, reduciendo al mismo tiempo el agua de pre-enuelata. Este sistema esta muy especialmente indicado cuando la estabilización se realiza in situ y los medios mecánicos de fabricación de la mezcla nos son muy eficaces. La dilución de la emulsión se puede realizar directamente en la obra, siempre que el agua a añadir sea de cierta calidad (exenta de materia orgánica o aguas muy duras).

En la realización de la obra, especialmente en sus momentos iniciales, es necesario realizar cierto control de calidad para asegurar la uniformidad de los materiales a tratar, así como de la mezcla resultante. También en los momentos iniciales es cuando se validan en tramos de prueba, las fórmulas de trabajo obtenidas en laboratorio. Como punto imprescindible del control de calidad esta el mencionado del acopio de material a estabilizar, donde

debemos establecer que el material es adecuado y homogéneo. Hemos comentado anteriormente que la uniformidad del material a tratar debe ser la mejor posible, por lo que la distribución del crudo en el suelo debe ser adecuada. Esto conduce a la utilización de medios mecánicos. Ya que el crudo de por sí es un material que puede actuar de ligante, por lo que si la cohesión que proporciona es suficiente, puede por si solo o combinado con otros conglomerantes utilizarse en la construcción de firmes. Es decir, podemos utilizar el contaminante como un ligante. Para utilizar los fondos de tanque directamente, es necesario realizar una evaluación inicial del producto, ya que posiblemente fuera necesaria una operación de mezclado con otros ligantes asfálticos, o un proceso de emulsificación por ejemplo.

Conclusiones:

El muestreo debe contemplar la variedad de situaciones que se presentan, desde caminos que han sido empetrolados 2 ó 3 veces y muestran mayor compactación (Fotografía 1), caminos en proceso (Fotografía 2) y zonas no circuladas (Fotografía 3) hasta los distintos grados de meteorización en que se encuentran las zonas a estudiar y las concentraciones de hidrocarburos presentes.

Los parámetros principales con los que se controla la calidad de un material en este tipo de tratamientos son el CBR , plasticidad, apisonado Proctor, equivalente de arena y granulometría entre otros. Dentro de lo posible, es necesario efectuar una evaluación inicial del suelo a utilizar con el fin de seleccionar de poder optimizar el producto final. En este sentido lo más deseable es utilizar materiales con la menor plasticidad posible y un alto CBR.

La acción combinada de emulsión bituminosa y cemento confiere las ventajas de ambos conglomerantes simultáneamente; altas estabilidades por parte del cemento y flexibilidad por parte del ligante bituminosos. En el caso del cemento la dosificación no debe sobrepasar el 3%, ya que nos encontraríamos en el caso de una capa netamente hidráulica. Para el caso de la emulsión el rango suele oscilar entre el 2-4%.

La cal es un producto a tener en cuenta si los niveles de plasticidad son especialmente altos, ya que los reduce considerablemente, al mismo tiempo que también tiene un comportamiento de tipo hidráulico, con dosificaciones que suelen oscilar entre el 1-2%.

El tratamiento de disposición de hidrocarburos deberá contemplar si el camino es un camino interno de yacimiento, fuera de áreas urbanas, fuera de planicies de inundación de ríos o arroyos, en áreas que no estén expuestas a erosión hídrica activa y, en general de baja sensibilidad ambiental.

En el caso de la muestra de suelo conglomerado sin cemento, el resultado ha sido malo incluso combinando la acción de los dos ligantes, y aunque las resistencias conservadas son aceptables, los valores de resistencia absoluta son muy malos.

Por lo que respecta a las lixiviaciones, no se aprecian arrastres de hidrocarburos ni en el combinado cemento + emulsión ni con cemento exclusivamente. En lo que atañe a metales, solamente se lixivian en las muestras sin tratar B, Ba, Ca, Fe, K, Li, Mg, Na, Ni y Sr. Una vez tratadas las muestras con emulsión conseguimos encapsular el Fe, Li y Mg, es decir,

su concentración en el agua de lixiviación es cero. En cuanto a los otros, se consigue disminuir su concentración en el agua de lixiviación. El ligante presente en las tierras es, efectivamente un crudo fluido con cierto poder de cohesión.

Estos tratamientos, si es que técnicamente pueden realizarse, probablemente tendrán un precio superior a los 20 pesos/m³ actuales. Sin embargo, estarán lejos de los 180 pesos/m³ de la incineración. En todo caso serán una alternativa más a todas las existentes que podrá aplicarse o no dependiendo de las circunstancias. Si se llegara a una solución definitiva, habría que evaluar su costo. También debería tenerse en cuenta que estos tratamientos durarán más de un año (tiempo de duración de los actuales).

Existen experiencias de utilización de crudos directamente en pavimentación

(Colombia con el crudo de Castilla, Cuba). La gran ventaja de esta vía es esencialmente el lavado de cara de un producto de desecho que contamina, en una opción alternativa en pavimentación.

Bibliografía: Normas Utilizadas

Penetración de los materiales bituminosos	NLT-124/99
Punto de reblandecimiento anillo y bola	NLT-125/99
Ductilidad de los materiales	NLT-126/99
Puntos de inflamación y combustión de los materiales bituminosos (aparato Cleveland, vaso abierto)	NLT-127/99
Efecto del calor y el aire sobre los materiales bituminosos en película fina	NLT-185/99
Efecto del calor y el aire sobre los materiales bituminosos en película fina y rotatoria.	NLT-186/85
Viscosidad Brookfield	ASTM-D-4402/84
	ASTM-D-4402/87
Rigidez en ensayo de viga a baja temperatura	AASHTO TP1/93
	AASHTO TP1/98
Propiedades reológicas de los betunes	AASHTO TP5/93
	AASHTO TP5/98
Envejecimiento acelerado a presión	AASHTO PP1/93
Verificación del grado SHRP de un betún	AASHTO PP6/93
Viscosidad Saybolt de las emulsiones bituminosas	NLT-138/99
Residuo por destilación de las emulsiones bituminosas	NLT-139/99
<i>Contenido de ligante de mezclas bituminosas</i>	NLT-164
Análisis granulométrico de los áridos recuperados de mezclas bituminosas	NLT-165
Recuperación de ligante de mezclas bituminosas para su caracterización	NLT-353
Densidad y densidad relativa de los materiales bituminosos	NLT-122
Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas bituminosas compactadas (ensayo de inmersión-compresión)	NLT-162

Tabla I: Valores de contaminantes admitidos legalmente

Analito	Método	Valor admisible (mg/l)
Cadmio	EPA 7130	Menor o igual a 0.5
Cromo total	EPA 7190	Menor o igual a 5.0
Mercurio	EPA 7401/1	Menor o igual a 0.1
Plomo	EPA 239.1	Menor o igual a 1.0
Hidrocarburos totales	EPA 8015	Menor o igual a 10.0
BTEX	EPA 8020	Menor o igual a 1.0

Tabla II.- Contenido de ligante de mezclas bituminosas y análisis de los áridos extraídos

	Suelo con fondo de Tk sin cemento	Suelo con fondo de Tk y cemento	Suelo conglomerado sin cemento
Contenido de ligante sobre muestra, %	2.36	5.86	10.64
Contenido de ligante sobre árido, %	2.41	6.23	11.90
Tamiz UNE, mm	% Pasa		
50		100	
40	100	84	
32	85	84	100
25	85	73	99
20	81	72	98
12.5	68	66	93
10	62	61	89
6.3	50	54	83
5	47	51	81
2.5	41	45	75
1.25	38	40	69
0.63	33	35	61
0.32	22	28	54
0.16	8	15	31
0.08	3.4	7.1	13

Tabla III.- Recuperación del ligante para su caracterización, Densidad relativa de los materiales bituminosos

	Suelo con fondo de Tk sin cemento	Suelo con fondo de Tk y cemento	Suelo conglomerado sin cemento
Densidad relativa 25°C	1.016	1.012	1.008

Tabla IV.- Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas bituminosas compactadas (ensayo de inmersión-compresión); muestras procedentes de fondo de tanques.

Curado	24 horas a temperatura ambiente y 3 días a 60°C								
Procedimiento inmersión	n° 1, 4 días a 49°C								
Identificación	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Suelo con fondo de Tk sin cemento	100	100	100	100	100	100	100	100	100*
Emulsión	3	4	5	5	3	4	5		
Cal	1.5	1.5	1.5						
Cemento					2	2	2	2	2*
Agua	2.0	1.6	1.2	1.2	2.0	1.6	1.2	3.0	3.0*
Resistencia en seco, kg/cm ²	19.56	11.65	13.34	4.8	21.39	18.97	15.06	7.14	7.74
Resistencia tras inmersión, Kg./cm ²	6.16	3.72	3.98	0.5	14.53	11.97	8.59	8.2	
Resistencia conservada, %	31	32	30	10	68	63	57	115	
Densidad relativa	2.205	2.164	2.171	2.080	2.193	2.175	2.162	2.215	2.210

* Estas probetas se curaron en cámara húmeda a 25°C, 95% de grado de saturación durante 7 días

Tabla V.- Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas bituminosas compactadas (ensayo de inmersión-compresión); muestra identificada como suelo conglomerado sin cemento.

Curado	24 horas a temperatura ambiente y 3 días a 60°C					
Procedimiento inmersión	n° 1, 4 días a 49°C					
Identificación	10	11	12	13	14	15
Suelo conglomerado sin cemento	100	100	100	100	100	100*
Emulsión	3	4	5	5		
Cemento	2	2	2		2	2*
Agua	3.0	2.6	2.2	2.2	4.0	4.0*
Resistencia en seco, Kg./cm ²	4.69	4.14	3.36	1.35	7.59	9.22
Resistencia tras inmersión, Kg./cm ²	2.96	2.70	3.07	0.46	5.87	
Resistencia conservada, %	63	65	91	34	77	
Densidad relativa	2.025	2.009	2.015	2.014	2.086	2.071

* Estas probetas se curaron en cámara húmeda a 25°C, 95% de grado de saturación durante 7 días

Tabla VI.- Análisis sobre el líquido proveniente del ensayo de lixiviación

	A	B	Blanco
Suelo con fondo de Tk sin cemento	100	100	
Cemento	2	2	
Emulsión	3		
<u>Materia orgánica extraíble total</u>	4 ppm	6 ppm	-
<u>Materia orgánica extraíble procedente de hidrocarburos</u>	<1ppm	<1ppm	-
Metales: Se ha buscado la presencia de Li, Be, B, C, Na, Mg, K, Ca, Rb, Sr, Cs, Ba, Sc, Y, La Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Mn, Re, Fe, Ru, Os, Co, Rh, Ir, Ni, Pd, Pt, Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Hg, Tl, In, Ga, Al, Si, P, S, Cl, Br, Te, Se, As, Sb, Ge, Sn, Pb, Bi, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th y U, hallándose los siguientes: (en mg/L)			
<u>B</u>	0.47	1.39	<0.09
<u>Ba</u>	0.44	0.12	<0.03
<u>Ca</u>	597	790	4.70
<u>Fe</u>	<0.02	0.17	<0.02
<u>K</u>	20	16	0.16
<u>Li</u>	<0.07	0.17	<0.07
<u>Mg</u>	1.10	34	1.18
<u>Mo</u>	0.13	<0.09	<0.09
<u>Na</u>	466	497	2.2
<u>Ni</u>	0.10	0.22	<0.08
<u>Sr</u>	2.45	4.06	<0.004
<u>V</u>	0.34	<0.08	<0.08

Figura 1.- Resultados de tratamiento de fondo de tanques con cemento y emulsión bituminosa.

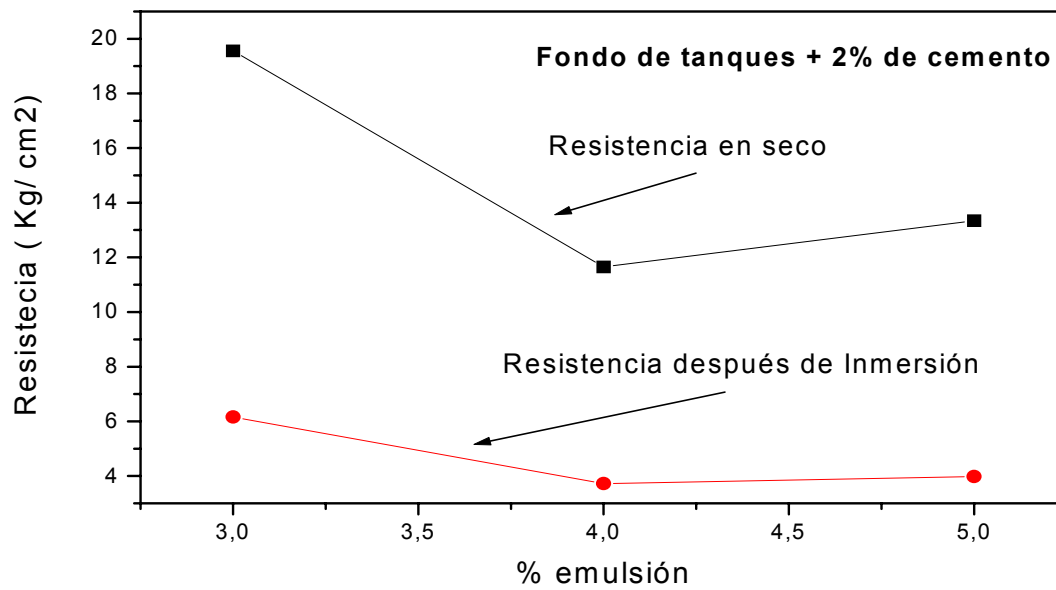


Figura 2.- Resultados de tratamiento de fondo de tanques con cal y emulsión bituminosa.

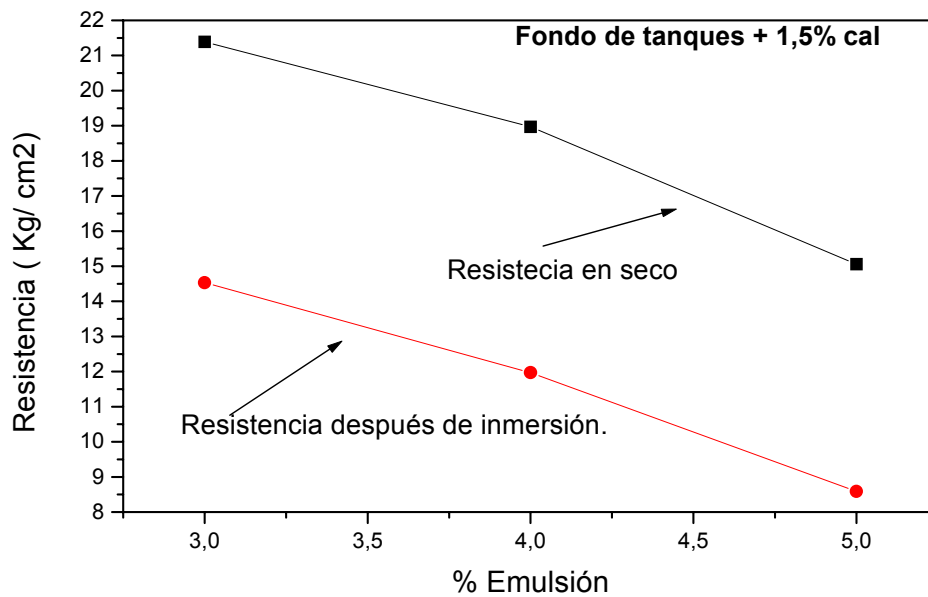


Foto N°1



Foto N°2



Foto N°3

