

EXPERIENCIA EN LA UTILIZACIÓN DE BARROS CONTAMINADOS EN BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

Autores: H. G. Botasso ¹ y E. Fensel ²

LEMaC - Area Medio Ambiente y Obras Civiles
Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional La Plata

1) RESUMEN

El siguiente trabajo estudia la posibilidad de utilización de barros contaminados y estabilizados, del proceso de oléfinas en particular, en bases y subbases de pavimento de hormigón.

Los costos de los procesos de reducción de este tipo de residuos son superiores a los de su utilización en estos proyectos viales, cubriendo a su vez una necesidad concreta tal cual es la de constituirse en material de aporte para una base cementada.

Se estudian los mismos para encuadrarlo dentro de las reglamentaciones vigentes desde el punto de vista ambiental y que su utilización cumpla con los premisas estructurales del diseño vial.

Se diseña una mezcla con la adición de suelos de canteras locales y técnicas de estabilización acorde a los residuos a neutralizar, se diseña una metodología que pueda ser implementada en polos industrializados para el adecuado tratamiento de los residuos.

2) CONCEPTOS GENERALES

Al trabajar con residuos creemos conveniente destacar tres características fundamentales asociadas al trato de los mismos, ellas son: los riesgos y la emisión propios del residuo y la reducción inherente al tratamiento.

Los riesgos: Las razones que determinan que un residuo sea o no peligroso son fundamentalmente las determinaciones de laboratorio en donde uno obtiene la composición de ese residuo y compara sus valores con listas de materiales no deseables que las reglamentaciones proteccionistas y leyes poseen. Haciendo una adecuada recopilación de antecedentes que dieron origen al residuo se puede orientar la búsqueda de componentes contaminantes.

En nuestro país se sigue el criterio establecido por la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos para establecer la toxicidad de un residuo. Con algunas modificaciones la técnica propuesta es la de LIXIVIACION, para simular la migración de contaminantes en distintos medios. Se conoce como **test de toxicidad (TCLP)** y somete a una muestra a condiciones de molienda, temperatura y presión en una solución acuosa ácida. Al observar los elementos transferidos si superan ciertos límites fijados el residuo o muestra es considerado tóxico. Cualquier programa regulador tendrá clasificado de distintas formas los contaminantes, como puede ser por su origen o sus características químicas, o también según la velocidad de migración de las sustancias tóxicas.

1 - Director del LEMaC - Investigador Categoría III. Prof. UTN - Experto PNUD

2 - Responsable Área Medio Ambiente y Obras Civiles del LEMaC

Se observarán reglamentaciones sobre el traslado y manipuleo de los residuos. De acuerdo al tratamiento que se asigne es muy posible que para ello tenga que ser trasladado desde el lugar de generación hasta el lugar de tratamiento.

La emisión de contaminantes al medio es inevitable. Esta se puede producir en cualquiera de los tres estados de la materia.

En nuestro caso particular se trata de residuos sólidos depositados en el terreno natural. Los lixiviados de los residuos se pueden dar por precipitaciones, por flujo superficial de aguas o por ascensos de napas freáticas. De esta forma el agua es absorbida por el residuo sólido al igual que el terreno circundante, hasta que se agote la capacidad de absorción del terreno. Cuando el suelo y los residuos quedan saturados el agua atraviesa dichas capas y realiza un proceso de reparto. La concentración del contaminante en el agua o en otro líquido derramado (con variaciones de PH), depende de la cantidad de material lixiviado del residuo, de la capacidad de traslado de su masa, de la proporción existente entre la profundidad de la columna de líquido y la drenabilidad del terreno, la solubilidad de la sustancia contaminante, tiempo de contacto, etc. Los mecanismos de transporte se darán de acuerdo a la naturaleza del contaminante y al medio que lo lixivia. Entre otros podemos citar medio mecánicos: soluciones, disoluciones, advección, estratificación por densidad flujos fracturados; medios químicos: Sorción, reacción de oxidación y reducción, precipitación, etc. y medios biológicos: Degradación, absorción biológica, etc.

Desde el punto de vista de la hidráulica de suelos se formarán circulaciones de acuerdo a redes de flujo de cada suelo.

La reducción de los residuos para disminuir su acción contaminante se les puede aplicar algunas de las siguientes técnicas:

- Minimización o reducción
- Desviación
- Prevención
- Reciclaje o reutilización.

Estos criterios aplicados a una política de gestión sirven para establecer ordenes de prioridades en el tratamiento del residuo. Las técnicas utilizadas para la reducción en general de un residuo podrán desarrollarse in situ al momento de ser generado.

Las técnicas más usuales que en nuestro país se desarrollan para tratar un residuo contaminante se realizan mediante distintos procesos entre los cuales podemos encontrar:

- Procesos físico-químicos: Incluyen stripping por aire, por vapor, adsorción por carbón, procesos por membranas, etc..
- Métodos biológicos: sistemas de tratamiento en lechadas, en fase sólida, biorrecuperación, etc.
- **Estabilización y solidificación: encapsulamientos, inhibiciones en fases aglutinantes y dispersantes.**

Esta última técnica es la que vamos a utilizar en el tratamiento del residuo actual. A éste le fue adicionado cal y fue expuesto por capas a la acción de los agentes atmosféricos, presión, temperatura y humedad.

El término **aglomerante** se utiliza para aquellos reactivos que aumentan la resistencia asociada a la estabilización. El término **sorbente** se utiliza para

aquellos reactivos que principalmente retienen los contaminantes en la matriz estabilizada

En el mercado están disponibles una amplia gama de sorbentes y aglomerantes, incluidos algunos reactivos patentados. Por lo tanto se describirán aquellos no patentados:

a)Cemento: se mezcla con el residuo y en caso de que el residuo no tenga agua suficiente se añade agua para su hidratación. Esta hidratación origina una estructura cristalina, de alumino-silicato cálcico, formando una masa dura, monolítica de aspecto rocoso.

Este tipo de estabilización se adapta mejor a residuos inorgánicos, fundamentalmente los que contienen metales pesados. Como resultado del elevado pH del cemento, los metales son retenidos como hidróxidos insolubles o carbonatos en la estructura endurecida.

Los estudios demuestran que el plomo, cobre, zinc, estaño y cadmio probablemente se unen a la matriz por fijación química, formando compuestos insolubles, mientras que el mercurio es retenido de manera predominante por microencapsulación física.

Los contaminantes orgánicos interfieren el proceso de hidratación y no son fáciles de estabilizar, para mejorar esto se pueden incorporar junto con el cemento otros aditivos como arcillas modificadas orgánicamente o naturales, vermiculita y silicatos de sodio solubles. Además los contaminantes orgánicos reducen la resistencia final y la formación de la estructura cristalina originando un material más amorfo.

b)Puzolanas: son un material que reacciona con la cal en presencia de agua para producir un material de cementación. Esta reacción da lugar a la formación de un producto del tipo del hormigón denominado hormigón puzolánico. Las puzolanas pueden ser: cenizas volantes, escorias de incineración y polvo de hornos de cemento. Las estructuras puzolánicas resultantes se denominan aluminosilicatos amorfos.

Preferentemente se aplica sobre materiales inorgánicos. El medio de alto pH es adecuado para residuos contaminados con metales pesados.

c)Cal: se utiliza para la estabilización de lodos, la que al reaccionar con los materiales presentes en el residuo puede dar lugar a silicato cálcico, alúmina cálcica o alumino -silicato cálcico hidratados, materiales que se forman a partir de la reacción del calcio de la cal y los alumino-silicatos del residuo. Puede realizarse una estabilización adicional con el uso de otros ingredientes en menor cantidad.

Se recomienda para contaminantes inorgánicos y lodos metálicos.

d)Silicatos solubles: los reactivos de sílice se acidifican para dar lugar a una solución monosilíceica ácida a la que se añaden los residuos con metales, o pueden combinarse con cemento para el caso de suelos contaminados con altas concentraciones de plomo, cobre y zinc.

e)Arcillas modificadas orgánicamente: se añade primero para adsorber los contaminantes orgánicos siendo encapsulada a la vez por cemento u otro aglomerante para proporcionar resistencia a cizalladura y solidificar el material en una masa monolítica.

f)Cal modificada: transforma los residuos orgánicos tóxicos, con un porcentaje de hidrocarburos significativo, en una masa inerte.

g) Polímeros orgánicos termoestables: se mezcla un monómero, como la urea formaldehído que actúa como catalizador, para formar un material polímero, formándose una masa tipo esponja que retiene en la matriz partículas sólidas del residuo peligroso (macroencapsulación). Este proceso deja, sin embargo, algunos residuos sin retener, en especial residuos líquidos, por lo que el producto del residuo final debe dejarse secar y conservar en contenedores.

Ventajas: el material obtenido es de baja densidad, se requieren pequeñas cantidades de aditivos para solidificar los residuos, por lo que esta técnica tiene mayor aplicación de residuos orgánicos, no volátiles, líquidos. Utilizándose también para solidificar residuos de baja radioactividad antes de su eliminación definitiva.

Desventajas: no son aplicables a la recuperación de terrenos debido a su coste, peligro de incendio, producción de agua a partir de la matriz del residuo y volatilización de compuestos orgánicos.

h) Materiales termoplásticos: se combinan los materiales termoplásticos: asfalto, parafina, betún, polietileno, polipropileno y azufre, fundidos con los residuos a altas temperaturas. Al enfriarse el material solidificado se caracteriza como un residuo revestido termoplásticamente y conservado en bidones. Se utiliza para residuos mixtos: residuos peligrosos y radioactivos.

Ventajas: son bastante resistentes a lixiviación y biodegradación.

Desventajas: la presencia de materiales en la matriz que pueden deteriorar el material termoplástico y la presencia de productos químicos orgánicos que actúan como solventes de los materiales termoplásticos de estabilización.

i) Vitrificación: se obtiene un residuo estructuralmente más estable con un potencial de migración de contaminantes al medio reducido. Puede ser desarrollada in situ o en planta.

3) MECANISMOS DE LA ESTABILIZACIÓN

Los mecanismos de estabilización serán los siguientes:

- ❖ MACROENCAPSULACIÓN
- ❖ ABSORCIÓN
- ❖ DETOXIFICACIÓN

Macroencapsulación

Los materiales utilizados no cumplen una sola función sino que ayudan a desarrollar entre todos la macroencapsulación, que es el mecanismo por el cual los constituyentes del residuo, quedan atrapados en una matriz estructural de mayor tamaño, produciéndose una retención.

Esta macroencapsulación puede ser alterada por ciclos de:

- Humedecimiento y secado
- Congelamiento y deshielo.
- Estado tensional

Estas situaciones son contempladas en los métodos de evaluación.

Los residuos quedan ligados por lazos físicos a la matriz, si ésta se deteriora queda el residuo librado para migrar.

Es por ello que se tuvo especial cuidado en realizar las determinaciones de laboratorio con materiales en las mismas condiciones con las que serían recibidos en obra.

El cemento es el encargado de generar la matriz de macroencapsulación.

La absorción, es el proceso por el cual los contaminantes son tomados por el sorbente. En nuestro caso se precisó de un material sólido que absorba la humedad natural del residuo para poderlo llevar a terrones con tamaños acordes a la matriz generada para su encapsulamiento. Los materiales absorbentes serán la cal y su mezcla con suelo seleccionado.

La detoxificación, es el proceso que se da con la generación de ciertas reacciones que pueden generar una menor toxicidad del residuo. En este caso el cemento y la cal se espera que sean los que cumplan tal función.

4) EXPERIENCIA CON BARROS CONTAMINADOS DEL PROCESO DE OLÉFINAS.

4.a.Descripción del residuo

Se dispone de 1600 m³ de residuo generado en el proceso de oléfinas.

El residuo son barros contaminados con metales pesados e hidrocarburos tratados biológicamente inmediatamente después de retirados de la planta con adición de cal.

Aparecen como principales metales el Cobalto, el Níquel y el Plomo, desde el punto de vista de la concentración, e hidrocarburos en los registros de control de calidad.



El residuo se encuentra depositado en dos pilas identificadas como pila 1 y pila 2. Las mismas se cubicaron y se hicieron muestreos en tres niveles de profundidad de las pilas.

El tomado de muestras se realizó con barreno especialmente diseñado y se guardaron en bolsas herméticas. Las muestras fueron identificadas del 1 al 7. Volumen de las pilas.

Pila nº1: 924 m³
Pila nº2: 704 m³

4.b. Caracterización del residuo

De los sondeos realizados en las pilas de residuos, se obtuvieron 7 muestras representativas del conjunto a las que se le realizaron las siguientes determinaciones:

Según EPA-1311 (TCLP)

Titulación por absorción atómica previa concentración (ppm).

ELEMENTOS	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
PLOMO	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
NIQUEL	0.15	0.92	2.10	2.34	1.90	2.40	1.30
COBALTO	0.10	4.50	3.30	3.00	2.90	2.70	2.80

La determinación de estos tres metales pesados, se prioriza por ser de antemano los que aparecían con mayores concentraciones en los registros disponibles, durante el proceso de generación de los mismos.

Por otra parte la ubicación de los sondeos, como así también la cantidad de muestras tomadas son considerados como eventos necesarios y suficientes para evaluar la probabilidad de aparición de cada suceso (sustancia contaminante).

De la observación de resultados se desprende tomar como muestras representativas, las muestras 2, 4 y 6, ya que presentan los valores mas elevados de los distintos componentes analizados.

De estas muestras se tomó mayor cantidad de residuo de las pilas, para realizar determinaciones definitivas, ya sea de metales pesados como de hidrocarburos. El residuo de las dos pilas puede considerarse como una sola muestra previa tareas de homogeneizado.

Caracterización física del residuo

El residuo en las pilas ya tiene adicionada la cal.

- **Determinación de constantes físicas**
- **I.P. (Índice de Plasticidad):** 0
- **Lavado por el tamiz 200 de 75 micrómetros (%):** 77
- **Humedad (%):** 33.7
- **P.U.V.(Peso Unidad Volumen Suelto (g/cm³):** 0.95
- **Proctor**
- Dsmáx.(g/cm³):** 1.12
- Hópt.(%):** 32.5

La determinación de humedad del residuo se realizó por “Destilación por Arrastre”, método Dean Stark.

Las determinaciones de L.L., L.P., I.P. y P.T.200, siguen las normas VNE-1,2,3, de la Dirección Nacional de Vialidad

Caracterización química del residuo

Lixiviado método TCLP(EPA 1311). Titulación por absorción atómica sobre concentrado.

Metal	Símbolo	Concentración Ppm	Límites ley 24051 Ppm
Cobre	Cu	0.09	1
Plomo	Pb	< 0.1	1
Cinc	Zn	2.20	5
Cromo	Cr	0.08	5
Cadmio	Cd	0.10	0.5
Cobalto	Co	2.20	Sin valor
Plata	Ag	< 0.02	5
Níquel	Ni	1.64	1.34

Hidrocarburos Totales (%) = 0.12

Método 3550(EPA), de extracción de sólido – líquido por sonicación

Grasas + Aceites + Hidrocarburos (%) = 0.18

Método 418.1 (modificado, EPA), para la determinación de grasas, aceites e hidrocarburos por Espectrofotometría IR.

Extractables en Cl4C por gravimetría (%) = 0.18

Método Gravimétrico para la determinación de solubles de tetracloruro de carbono.

Determinación de Conductividad: C = 8.6 mS

Capacidad de Intercambio: 6.1 gr/kg. de residuo(Expresado como gramos de (HO)₂ Ca por Kg. de residuo

Determinación de pH. Con Fluido 2

PH	Tiempo
2.9	0.0 min
4.2	15 min
5.0	30 min
5.5	60 min
6.0	20 horas

5) JUSTIFICACIÓN DEL USO DE LOS MATERIALES A UTILIZAR

La estabilización del residuo se realizará con:

Cal hidráulica hidratada. _Ya incorporada en las muestras que se tomaron para el presente desarrollo en el lugar del depósito natural
Cemento portland normal
Suelo seleccionado

El cemento:

El cemento portland normal aquí como en otros campos resulta ser uno de los materiales mas adaptables para cumplir con las exigencias ambientales y viales . Su tecnología, manejo, mezcla, fraguado y endurecimiento son bien conocidas como así también su bajo costo, equipo y personal accesibles. La estabilización con cemento puede llevarse a cabo con el agua suficiente para que el material sea bombeable. El sistema tiene capacidad para admitir variaciones en la composición química del residuo.

La estabilización con cemento es una de las más simples, relativamente económica y según determinaciones realizadas por varios grupos de investigación entre los cuales el LEMaC ha participado, se han observado las siguientes ventajas:

Se adaptó a residuos con metales pesados, como en nuestro caso, pues el elevado pH del cemento retiene los metales en hidróxidos insolubles o carbonatos en la estructura endurecida. Así el plomo, níquel, cadmio y cromo pueden llegar a combinarse y tender a ser insolubles. Por otro lado los hidrocarburos presentes pueden interferir en la resistencia final de la mezcla, en este sentido la utilización de cal y suelo arcilloso, colabora para no retrasar la reacción.

La Cal

La cal a su vez colabora en la reducción del efecto de los hidrocarburos sobre la posible reducción en el desarrollo de resistencia de la mezcla. Modifica la granulometría de los finos de los barros, reduce la plasticidad, puede combinarse con metales libres de los contaminantes y su tecnología es de amplia difusión en la obra vial.

El suelo seleccionado

Es la fase dispersante del sistema, es el que absorbe la humedad y líquidos lixiviados, otorga cohesión, y colabora en la estabilización de la plasticidad. Sus características deben cumplir con los requerimientos viales y no contener contaminantes propios en su ubicación natural.

El procedimiento de estabilización, consistió en realizar las mezclas de **residuo/suelo/cemento** en proporciones variables de cada uno hasta obtener una mezcla que nos garantice la reducción de la naturaleza peligrosa del residuo

6. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES A ADICIONAR

Suelo Seleccionado de aporte

• L.L. (Limite Líquido)(%)	42
• L.P. (Limite Plástico)(%)	33
• I.P. (Indice de Plasticidad)(%)	9
• P.T.# 200 (%)	45
• Clasificación HRB	A-5(2)
• Dsmáx (gr/cm ³)	1,400
• Hópt (%)	30,2
• Absorción (%)	17.0

Cemento

Cumplió con los valores especificados en la Norma IRAM 1503.
Determinaciones de acuerdo a Norma IRAM 1504.

7. DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS

Se combinan valores de aporte de residuo en base al residuo disponible y a los límites establecidos en la normativa para el control tanto ambiental como vial.

Material	Dosificación 1	Dosificación 2
	M1 %	M2 %
Residuo	60	60
Suelo Seleccionado	40	40
Cemento	11	13

El porcentaje de cemento es sobre el total de la mezcla de suelo seleccionado / residuo en estado seco.

La elección de los porcentajes de residuo y suelo, radica en la utilización de la mayor cantidad posible de residuo que mezclado con suelo nos permita una mezcla trabajable en obra, asociada a esta un porcentaje de cemento que nos garantice resistencia aceptable a la edad de 7 días, a la vez de encapsular al residuo y garantizar durabilidad.

Se trabajó con material que pasa el Tamiz 3/8, ya que ese tamaño es exigible para el control del Lixiviado, el que se exigirá en obra.

7.1 Compactación

Las mezclas se pueden estabilizar por la aplicación de una cierta energía de compactación. Esta energía, normalizada en la obra vial, la expresa el ensayo proctor standart, con un valor aproximado de 6 Kg. cm./cm³. Recordemos que en la caracterización del residuo tenemos los valores de P.U.V. y el peso específico, que son orientadores en las dosificaciones. A su vez, variando el contenido de humedad, logramos variar la compacidad, para esa misma energía.

En los suelos estabilizados con cemento será necesario, como se indicará, verificar las características del suelo para cuantificar la acción cementante del cemento portland normal utilizado.

Proctor Standart- Norma VN-E5

	M1	M2
Ds máx. (gr/cm³)	1.239	1.230
H ópt. (%)	33.6	33.9

7.2 Granulometría

El tamiz de abertura 3/8 " garantiza la adecuada interacción residuo- suelo – cemento, y es el tamaño máximo nominal utilizado en la norma EPA 1311, con la que se realizarán todos los ensayos.

Pasa Tamiz 3/8"= 100 %

7.3 Resistencia Inconfinada

Sobre probetas cilíndricas de diámetro $\varnothing = 5$ cm. y altura $h = 10$ cm.

Este ensayo, fundamental en bases cementadas, se hace con probetas de esbeltez igual a 2 y tiene la particularidad de ser de amplio uso ya que podemos con ellas evaluar el ciclo de durabilidad y absorción.

El ensayo de resistencia se realiza a la fecha consignada de la edad de la probeta, a la que se la mantiene en condiciones de temperatura y humedad hasta cumplir su edad de ensayo, se la somete a la acción de una fuerza axial de compresión hasta la rotura final, midiéndose la carga final.

Los valores de resistencia se evaluaron a 7 y 14 días, esto se debe a que se ha comprobado el efecto de "retraso" que produce el residuo en la generación de resistencia por parte del cemento en la mezcla.

En tal sentido en el Pliego de Especificaciones Técnicas se deberán exigir valores a estas dos edades.

	M1		M2	
Edad (días)	7	14	7	14
Resistencia(Kg/cm²)	17.7	20.9	18.6	23.0

7.4 Absorción por capilaridad

Este dato nos expresa la pérdida de absorción dada por la matriz cementante y nos da una idea muy precisa del gradiente hidráulico.

	M1	M2
Absorción %	4	3

Recordemos que la absorción del suelo seleccionado solo es del 17 %.

La absorción por capilaridad se desarrolla en cámara húmeda, con cámara de curado diseñada en nuestro laboratorio, con una cama de mezcla de suelos arenosos y arcillosos, papel de filtros y atmósfera saturada.

7.5 Durabilidad por ciclos de humedecimiento y secado

Norma VN- E21

El porcentaje mínimo de cemento fue diseñado mediante esta técnica. No se considera el ciclo de durabilidad de congelamiento y deshielo por considerar que el primero es lo suficientemente severo y que no es lo más representativo de los cambios registrados en las capas de base en el gran La Plata.

Este ensayo se comienza a los siete días de moldeadas las probetas, curadas en cámara húmeda durante este lapso, con una inmersión en agua a temperatura ambiente de 5 hs., luego pasan a estufa a 71 °C durante 42 hs., luego una de las probetas es cepillada con un cepillo con alambres de acero normalizado. En cada cambio de estado se pesan y se miden las probetas. (1 de las probetas queda como patrón de referencia).

	M1	M2
Pérdida de peso (%)	7	5

Según Norma, para suelos A-4 y A-5: < 10 %

Nota importante:

Dado que es una base cementada, las normas viales fundamentadas en correctos criterios ingenieriles, eliminan el evaluar al valor portante, penetrómetro y compresibilidad, dado que conceptualmente no aporta datos correctos.

7.6 Control de curado y fraguado

Con determinaciones de Laboratorio se aconseja que los días en que las capas se encuentren expuestas, deben ser mantenidas con un control de humedad mínima del 20%, a efectos de garantizar un adecuado curado y desarrollo de resistencia. De no contar con disponibilidad de equipo de riego, se deberá dar un riego con emulsión modificada con una dotación de 0.6 l/m².

7.7 Caracterización Química

Lixiviado

Todas las determinaciones se hicieron a la edad de 7 días a partir del moldeo, sobre el triturado de todas las probetas ensayadas a resistencia a esa edad.

Lixiviado método TCLP(EPA 1311)

Metal (ppm)	M1	M2	Valores Límites
Cobre	0.05	0.06	1
Cromo	0.03	0.03	5
Níquel	0.90	1.00	1.34
Cobalto	1.90	1.70	Sin valor
Plata	<0.02	<0.02	5
Cinc	1.50	1.40	5
Plomo	<0.10	<0.10	1
Cadmio	0.03	0.03	0.5

Hidrocarburos

Método 3550(EPA), de extracción de sólido – líquido por sonicación:
Hidrocarburos totales

Método 418.1 (modificado)(EPA) por espectrofotometría IR:
grasas+aceites+hidrocarburos

	M1	M2
Hidrocarburos Totales (%)	0.08	0.08
Grasas+aceites+hidrocarb.	0.16	0.10

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS**8.1 De los ensayos físicos**

- 1) El residuo presenta concentraciones de contaminantes bajas y habría sido tratado con cal y aireado.
- 2) Se observa una adecuada durabilidad de la mezcla suelo-residuo, atenuando el suelo los excesivos valores friccionales del residuo.
- 3) La compactación del Proctor Standart, resulta adecuada y las variaciones de densidad y humedad se encuadran dentro de los valores obtenidos en las obras viales, a mayor adición de cemento disminución de la densidad y aumento de la humedad óptima.
- 4) El tamiz 3/8" resulta ser limitante para una buena estabilización.
- 5) Los valores de resistencia a 14 días resultan los adecuados para la obra vial.
- 6) Los valores de reducción de absorción son aceptables y tienden a evitar la posible migración de contaminantes producida por los ascensos por absorción por capilaridad.
- 7) Los valores de durabilidad obtenidos son aceptables y expresan la estabilidad de la mezcla frente a cambios de humedad, principal agente de deterioro de las capas de base. Se fija así el porcentaje mínimo de cemento del 11%, mientras que el 13% es otra alternativa para utilizar dentro del paquete estructural.
- 8) Los valores del 20 % de humedad de curado resulta ser el mínimo recomendable.

8.2 De los ensayos químicos

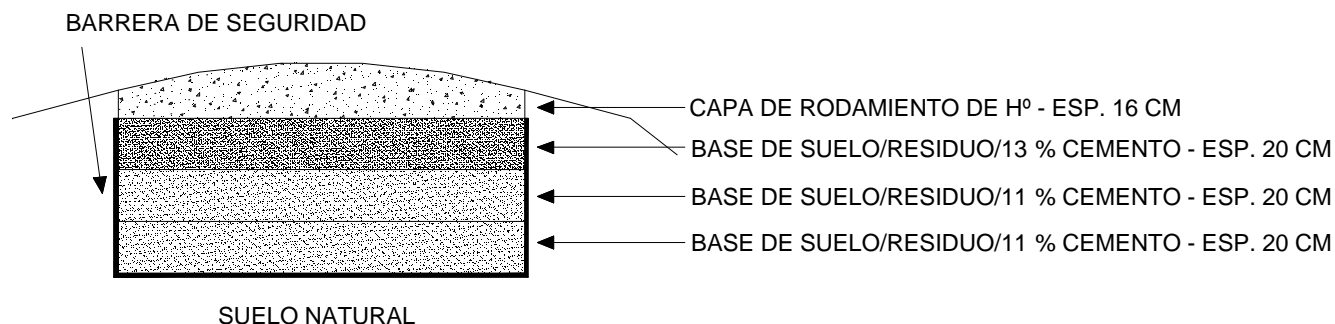
El método utilizado para la Lixiviación es el TCLP, aprobado su uso en EEUU desde el año 1986. Se tubo especial cuidado en seguir el procedimiento en forma estricta, según EPA 1311 se destaca en especial la concentración líquido-residuo en 20:1 y el mantenimiento constante del pH con un adecuado sistema de agitación.

Los valores obtenidos son aceptables, en particular este Laboratorio opina que las exigencias del método son sumamente severas ya que por ejemplo la molienda del suelo cemento no representa el estado de la base y rompe la macroencapsulación, igualmente a pesar de ello se logra cumplir con los valores exigidos.

Los valores de hidrocarburos, aceites y grasas, son muy bajos, por lo cual no se discriminan los distintos tipos.

9. CONSTRUCCIÓN DE 15.000 M2 DE CAMINO

PAQUETE ESTRUCTURAL ADOPTADO



El esquema del paquete estructural calculado para resolver las necesidades de tránsito, drenaje, subrasante es el que se muestra. En donde la totalidad de las capas que conforman la base son cementadas. El porcentaje del 11 % de cemento se incluye en las dos subbases y el 13% en la capa de base.

9.1. Proceso constructivo

En el comienzo de la presente obra, en la apertura de caja del tramo se verificaron los materiales detectados en los sondeos previos, bajo tal circunstancia se procedió a la compactación y sellado de la superficie de tal forma que la subrasante presentara una buena lisura para que el riego con emulsión asfáltica tuviese una continuidad que lo tornara impermeable..

El riego de imprimación se ejecutó con camión cisterna con pulverizadores a presión. En los laterales se ejecutó a mano con pistolas pulverizadoras sobre una superficie que presentaba una gran verticalidad, y fueron estas paredes las ejecutadas en primer lugar.

Para la preparación de las distintas mezclas de Residuo-Suelo-Cemento, se ejecutó en el terreno circundante a la traza del Tramo Interno una pista de un ancho aproximado de 5 m., con suelo seleccionado compactado, la cual, en gran parte se desarrollaba sobre una plataforma de hormigón, con el fin de lograr una base permanente para cuando finalice la obra la misma pueda ser retirada ante una eventual contaminación con el residuo.

La operatoria de realización de las mezclas fue la de colocar el suelo seleccionado en primer lugar, en un espesor de aproximadamente 8.5 cm., luego el residuo en un espesor aproximado de 14.5 cm., ambos espesores en estado suelto del material, garantizando por balanzas la relación porcentual en peso de las fracciones. Luego de obtener homogeneidad en la mezcla se procedía a distribuir el cemento en una distancia adecuada al volumen necesario a preparar. El cemento provenía a granel y fue transportado y distribuido en camiones mixer (con tolva giratoria), lo que aseguró una buena distribución del ligante. Se continuó con el mezclado e incorporación de agua con el fin de llevar la mezcla a la humedad óptima. Cuando se llegaba al punto óptimo de humedad y mezclado, se procedía a cargar el material resultante con pala cargadora frontal y luego al transporte del mismo en camiones volcadores hasta la cancha. Se procedía al volcado y luego a la distribución.

En esta operatoria de preparación, mezclado y compactación de la mezcla nunca se superó el tiempo máximo permitido de 4 hs.



9.2. Controles de calidad

El Pliego de especificaciones técnicas fue realizado por el LEMaC , aprobado por la Secretaría de Política Ambiental de la Provincia de Buenos Aires.

Los controles de calidad de los materiales utilizados comenzaron en primer término con la muestra de suelo seleccionado a la que se le realizaron las constantes físicas y el ensayo de densidad máxima denominado Proctor. La muestra cumplió con lo especificado en el Pliego.

Siguiendo la misma metodología que para la determinación final de la mezcla especificada en el pliego se tomaron nuevas muestras del residuo a las que se les hicieron las determinaciones químicas correspondientes. Con este suelo seleccionado y el residuo se moldearon en Laboratorio mezclas con los porcentajes de diseño del suelo y los dos contenidos de cemento. Con estas mezclas se realizó el ensayo Proctor para determinar las densidades máximas de ambas mezclas.

Una vez obtenida la densidad máxima para cada contenido de cemento se moldearon probetas cilíndricas para determinar la resistencia comparativa para las probetas moldeadas con mezcla de obra.

El control de contenido de agua de la emulsión del riego se determinó con destilación bajo normas españolas NLT.

El control de compactación de la subrasante se hizo con el método de D.C.P., el que en principio tomando el promedio de las distintas determinaciones no arrojó un resultado satisfactorio, luego de la recompactación fue aprobado por un posterior control.

Luego se controló "in situ" la dotación del riego de imprimación de la barrera que acompaña al desarrollo de la caja, como así también se exigió rigurosamente la continuidad de la película asfáltica residual.

La compactación de las distintas capas se controló por el método de densidad "in situ" con densímetro nuclear.

Por cada mezcla con cemento preparada y colocada en la traza se tomaron muestras en la totalidad de la longitud de cada tramo, con la que se moldearon probetas para ser ensayadas a compresión inconfina de modo tal de establecer la resistencia de la mezcla de obra la que fue comparada con la teórica establecida. Los moldeos de la misma se realizaron según norma y respetando estrictamente los tiempos máximos de moldeos.

10) CONCLUSIONES

- **La metodología** propuesta integrando los parámetros ambientales y los viales, es adecuada y las determinaciones realizadas se consideran las necesarias y suficientes para garantizar el comportamiento de las mezclas en capas de base de pavimentos.
- **Los organismos** de control ambiental y vial han aceptado la formulación y han autorizado la ejecución de dos tramos experimentales.
- **El cemento Pórtland** normal ha demostrado ser el agente estabilizador adecuado. Ha actuado en el macro y microencapsulación, se ha combinado químicamente con metales del residuo y ha permitido obtener una base de resistencia y durabilidad adecuada.
- **La tecnología** utilizada en la estabilización con cemento es la que se usa tradicionalmente, es económica y no se necesitan realizar modificaciones a los equipos.
- **Los controles de calidad** utilizados, demostraron que lo hecho en laboratorio puede repetirse en obra.
- **Las normas de la Agencia de Protección Americana EPA** son adecuadas para el marco normativo ambiental en conjunto con la Ley Nacional 24.051.
- **Las normas de Vialidad Nacional** son recomendables para las exigencias de los parámetros viales.
- **La estabilización y solidificación obtenidas con el cemento Pórtland** es de menor costo que los tratamientos de incineración o tratamientos biológicos sumándose una economía en la construcción de la capas de base por la disminución en el aporte de material de cantera.
- **La obra vial** es una atractiva posibilidad para la deposición y tratamiento de residuos contaminantes, debido al importante movimiento de suelo que las mismas conllevan.

11) BIBLIOGRAFÍA

- Posajek, R.B. "Toxic and Hazardous waste disposal" 1999
- Federal Register, " National oil and hazardous substances pollution contingency plan. 1197
- Debra Cook, " Bucknell University, Lewisburg, Pennsylvania.1992
- Botasso, Gonzalez "Como utilizar barros contaminados" Revista Carreteras 2001
- Lagrega, Evans " Gestion de residuos toxicos" 1995