

EL HORMIGÓN DE CEMENTO PÓRTLAND COMO UN MEDIO DE FIJACIÓN DE UN RESIDUO CONTAMINANTE (CATALIZADOR AGOTADO).

Sota J.D., Barreda M. F., Rodrigo M., Susana H., Villagrán Y.A.,
Centro de Investigaciones Viales LEMaC. Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional La Plata. Calle 60 y 124 (1900) La Plata Buenos Aires Argentina.
e-mail: jdsota@netverk.com.ar

RESUMEN

Este proyecto se generó en un pedido realizado por una empresa al LEMaC, Centro de Investigaciones Viales de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata Argentina, para evaluar la factibilidad del uso en hormigones de cemento portland de un residuo contaminante (catalizador agotado del proceso de craking catalítico) generado en su destilería.

El estudio tenía como objetivo contar con dosificaciones en las que se incorporaba el catalizador - de esta manera fijando un residuo contaminante de la destilería - para usarlas en plateas de fundación, pavimentos de hormigón y bacheo de hormigón

Se caracterizó el catalizador desde el punto de vista de la calificación de un residuo contaminante y se realizaron todos los ensayos según las normas internacionales para esta clase de productos.

Se realizaron dosificaciones con diferentes porcentajes de adiciones del catalizador en reemplazo de la arena fina en el hormigón, en estado natural y saturado, sobre los mismos se realizaron ensayos sobre el hormigón fresco y endurecido.

Se analizaron las dosificaciones seleccionadas como las más convenientes de usar y se sometió a los hormigones al test de lixiviación para conocer si liberan sustancias tóxicas al medio y en qué cantidad una vez inertizado o reciclado el residuo en forma de material para la construcción, intentando de esta forma extrapolar que sucederá con los contaminantes cuando se hayan puesto en contacto con el agua. En el particular el control se realizó mediante el Test de lixiviación, EPA SW-846 Método 1311.

Los resultados son alentadores para la disposición de este residuo en los hormigones de cemento pórtland, siendo necesario tomar algunas precauciones en la manera de disponer y usar el mismo al efectuar la adición.

Palabras claves: Hormigón, residuo contaminante, adiciones, aditivos reductores de agua de alto rango, reología del hormigón.

INTRODUCCIÓN

En las más diversas actividades humanas se plantea el problema de lograr materiales compuestos, en base a otros que contribuyen, con sus propiedades individuales y de acuerdo a las cantidades relativas en que se los emplee, a dar a esos compuestos, determinadas características deseadas.

En el caso del hormigón se dispone de tres componentes principales: el agua, el ligante y los agregados. Al mezclar dichos componentes entre sí en una gama amplia de combinaciones de cantidades relativas, se obtienen hormigones de muy distintas propiedades, tanto en su estado fresco como endurecido.

La experiencia disponible en lo referente a la influencia que sobre las propiedades de las mezclas tienen las proporciones en que intervengan los componentes, ha permitido establecer reglas propuestas por distintos autores para determinar las cantidades en que debe intervenir cada material para lograr que el hormigón resultante tenga las propiedades necesarias. En definitiva, dosificar es en cierta forma pronosticar, es decir presuponer que mezclando ciertos materiales de características más o menos conocidas en determinadas proporciones (dosis), la mezcla se comportará, tanto en el estado fresco como en el endurecido, dentro de un cierto margen de error, de acuerdo con las condiciones prefijadas.

Las cuatro condiciones principales que deben ser consideradas en la adecuada dosificación del hormigón son: economía, trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Es decir que, el hormigón deberá poder ser colocado con el grado apropiado de consistencia, y que, con el aprovechamiento más económico de los materiales disponibles, cuando haya endurecido, deberá tener la resistencia prevista a los esfuerzos considerados y a los agentes exteriores.

El método de dosificación racional más generalizado en diversos países es el propuesto por el American Concrete Institute (ACI) a través de su Comité 211. Se basa en la determinación de los volúmenes absolutos de todos los componentes de la mezcla y el cálculo posterior de los contenidos en peso por unidad de volumen del hormigón, como producto de cada volumen absoluto por el peso específico respectivo.

1. Economía

El costo de un hormigón está constituido por el costo de los materiales, el costo de la mano de obra y el costo del equipamiento. Sin embargo, con excepción de algunos hormigones o procesos especiales, los dos últimos aspectos, disponiéndose de mano de obra calificada y similar tecnología en la mayoría de las plantas, son prácticamente independientes de la calidad del hormigón producido. Por lo tanto, es razonable asociar la economía a la reducción del costo de los materiales componentes.

Dado que el cemento es más costoso que los agregados, por lo general, la mezcla más económica será aquella con menor contenido de cemento sin sacrificar la calidad del hormigón. Si asociamos la calidad a la relación agua/ligante, es evidente que debemos reducir la demanda de agua de la mezcla empleando alguna o todas las alternativas que se indican a continuación:

- elegir la mezcla más seca que sea posible colocar y compactar con los medios disponibles
- optar por el máximo tamaño máximo del agregado compatible con el tamaño del elemento, las armaduras y el recubrimiento
- optimizar la relación entre agregados finos y gruesos

La reducción de la cantidad de cemento (contenido unitario de cemento) tiene otras ventajas adicionales: menor contracción y menor calor de hidratación. Sin embargo, si el contenido unitario de cemento es muy bajo, pueden verse comprometidas la trabajabilidad, la durabilidad y la resistencia a corto plazo.

La economía asociada a un diseño particular de mezcla está vinculada también al control de calidad a implementar en condiciones de obra.

La economía entendida en los términos expuestos, indica que el producto final (la obra de hormigón) será el resultado de ajustar distintas variables, aquellas propias de los materiales, las asociadas al emplazamiento de la obra y al control de calidad especificado.

2. Trabajabilidad

Sin duda, una mezcla bien diseñada debe ser capaz de ser mezclada, transportada, colocada y compactada con el equipamiento disponible. La aptitud de la mezcla para que tenga una correcta terminación también es un factor a tener en cuenta, debiendo minimizarse la exudación y la segregación.

La consistencia del hormigón fresco es una medida de su resistencia a fluir o ser deformado. A mayor asentamiento, mayor fluidez (menos consistencia) de la mezcla. Como regla general, el hormigón debe suministrarse con el mínimo asentamiento que permita una correcta colocación.

3. Resistencia y durabilidad

En general, las especificaciones de hormigón exigen una resistencia determinada a la compresión a 28 días, aunque no necesariamente es la condición dominante. Las especificaciones pueden imponer limitaciones a la relación agua/ligante máxima admisible y al contenido unitario mínimo de cemento. Es importante asegurarse la compatibilidad entre estas condiciones para hacer un uso óptimo de las propiedades efectivas que tendrá el hormigón.

Las exigencias vinculadas a la durabilidad, tales como resistencia al congelamiento y deshielo o ataque químico, entre otras, pueden imponer limitaciones adicionales a la relación agua/ligante máxima, al contenido mínimo de cemento, al contenido de aire o a la resistencia misma.

La impermeabilidad de la pasta de cemento hidratada es una característica altamente apreciada, porque se supone que una pasta de cemento hidratada impermeable producirá un hormigón impermeable. El tamaño y la continuidad de los poros en la estructura del sólido determinan su permeabilidad. La resistencia y la

permeabilidad de la pasta de cemento hidratada están íntimamente relacionadas con la porosidad capilar o con la relación sólido – espacio.

Teóricamente se espera que la introducción de partículas de agregado de baja permeabilidad en una pasta de cemento reduzca la permeabilidad del sistema, porque las partículas de agregado deben interceptar los canales de flujo dentro de la matriz de la pasta de cemento. Por lo tanto, en comparación con la pasta de cemento, el mortero o el hormigón con la misma relación agua cemento y grado de madurez, deberá dar un coeficiente mas bajo de permeabilidad. Los datos de ensayos indican que en la práctica este no es el caso Pero sin embargo en realidad la adición de un agregado a una pasta de cemento o a un mortero, incrementa la permeabilidad considerablemente; de hecho, cuanto mayor sea el tamaño máximo del agregado, mayor será el coeficiente de permeabilidad. La explicación de porque la permeabilidad del mortero o del hormigón es mas alta que la permeabilidad de la pasta de cemento correspondiente, se halla en las microgrietas que están presentes en la zona de transición entre los agregados y la pasta de cemento. El tamaño del agregado y la granulometría afectan las características de la exudación de una mezcla de hormigón que, a su vez, influye en la resistencia de la zona de transición. Durante los períodos iniciales de hidratación, la zona de transición es débil y vulnerable al agrietamiento debido a deformaciones diferenciales entre la pasta de cemento y el agregado, inducido generalmente por la retracción por secado, la retracción térmica y la carga aplicada externamente.

MATERIALES COMPONENTES

Un método racional de diseño de mezclas debe tener en cuenta las características de los materiales componentes, dado que éstas influyen en las propiedades del hormigón fresco y endurecido y, por lo tanto, en las proporciones a emplear de cada uno de esos componentes.

1. Cemento portland

Para la mayoría de las obras de hormigón, cualquier tipo de cemento de uso general que cumpla con la Norma IRAM 50000, resultará adecuado.

Un parámetro a considerar en los cementos portland de uso general es su caracterización por resistencia. Si bien no existe una relación biunívoca entre la resistencia del cemento y la resistencia de los hormigones elaborados con ese cemento, puede decirse que existe “a priori” una cierta vinculación: en general, un cemento de mayor resistencia permitirá obtener hormigones también más resistentes. Para una misma relación agua/ligante, el empleo de un cemento más resistente conduce a mayor resistencia del hormigón.

2. Agregados

Una vez constatada la aptitud de los agregados que se emplearán, se deben conocer los parámetros requeridos por el método racional que se emplee, así como las absorciones y densidades relativas.

3. Aditivos químicos

Se define al hormigón como una mezcla homogénea de tres componentes fundamentales, un ligante: el cemento, el agente activante de ese ligante: el agua y un conjunto de partículas minerales de diferentes tamaños, destinadas a dar cuerpo al hormigón y ser ligadas por la pasta cementicia, que son los agregados. Pero, tanto en el caso de los hormigones que necesitan movilidad para su transporte y colocación, en los que deben mantenerse sin fraguar más tiempo del habitual; en los que deben alcanzar resistencias prematuras, como en los que deben soportar el efecto agresivo de agentes externos, puede resultar, en unos casos conveniente y en otros imprescindible, la incorporación al hormigón de un cuarto componente denominado aditivo.

Aditivos superplastificantes

Los superfluidificantes, también denominados superplastificantes o reductores de agua de alto rango, se emplean con el objetivo de reducir la cantidad de agua necesaria para obtener una determinada trabajabilidad o, lo que es lo mismo, para un contenido de agua determinado, permiten obtener una mejora significativa de la trabajabilidad.

Las interacciones del superplastificante con las partículas de cemento se clasifican en:

1. Interacciones físicas: la adsorción de superplastificante sobre las partículas de cemento impide la floculación de éstas debido a la generación de una fuerza repulsiva de origen electrostático y/o por impedimento estérico. Este último se produce cuando las moléculas de superplastificante son grandes y voluminosas, por ejemplo con muchas y largas cadenas laterales, creando una capa de adsorción de gran volumen que impide el acercamiento de las partículas de cemento.
2. Interacciones químicas: existencia de quimisorción, bloqueo de sitios reactivos en las partículas de cemento, formación de complejos con Ca^{2+} , etc.

LOS RESIDUOS

Se define como residuo a toda aquella sustancia u objeto generado por una actividad productiva o de consumo, de la que hay que desprenderse por no ser objeto de interés directo de la actividad principal. Las legislaciones suelen definir el residuo de una manera muy similar, como “aquella sustancia u objeto que no resulta útil para su poseedor y generando esto la intención, o bien la obligación, de desprenderse de ella”.

Dado que no se puede seguir con el ritmo actual de generación de residuos, es evidente que para prevenir el colapso de los medios de producción, se debe reducir su generación o mitigarla, mediante el fomento de la reutilización y del reciclaje. La reutilización consiste en recoger los materiales e introducirlos nuevamente en los procesos de producción y consumo, en lugar de destinar estas

sustancias a la corriente de residuos. La reutilización requiere de una serie de cambios en las prácticas que tienen lugar dentro de las plantas de producción, con el fin de poder transformar estos residuos en materias primas secundarias.

El mismo concepto se aplica a reciclaje, aunque este implica separación y tratamiento de materiales. La diferencia entre reciclaje y reutilización radica en el hecho de que el reciclaje requiere de una mayor y más compleja estructura organizativa, económica y tecnológica, mientras que la reutilización normalmente puede tener lugar en las mismas plantas productoras y puede ser realizada por los mismos generadores de residuos.

Se persigue como fin conseguir, en la medida de lo posible, que los ciclos de los materiales que se emplean en las empresas se comporten como circuitos cerrados, facilitando con ello que la eliminación de residuos sea ambientalmente compatible.

Se entiende por tratamiento de residuos, cualquier método o procedimiento que modifique el carácter químico, físico y / o biológico de un residuo con el fin de convertirlo en inerte, menos peligroso o que pueda ser manipulado con mayor seguridad.

Por inertización de residuos se entiende el conjunto de tratamientos a los que pueden someterse los residuos antes de su deposición final, para evitar que interactúen desfavorablemente con el medio ambiente. Muchas veces es necesario o recomendable, someterlos a un tratamiento previo o pretratamiento para facilitar la labor o gestión posterior.

Son muchos los parámetros a tener en cuenta para la selección del proceso de tratamiento óptimo, pero es factible que la selección de los procesos de tratamiento venga condicionada por los siguientes factores:

- Naturaleza del residuo: habrá que considerar la forma física del mismo, los componentes peligrosos, la concentración de los contaminantes, etc. Este conocimiento es muy importante, ya que indicará, por ejemplo, si el residuo es compatible con el equipo de los procesos considerados, los materiales constructivos, la instrumentación y las medidas de seguridad necesarias.
- Naturaleza de los materiales utilizados en la obra: así como las características del residuo condicionan su aplicación, también las características de la obra permitirán disponer de medios sorbentes, estabilizantes, micro y macroencapsulantes, aglomerantes hidráulicos o asfálticos, etc., por lo que la factibilidad de uso de un residuo tendrá una relación biunívoca con las características de la obra y la de los materiales intervinientes a efectos de no sólo garantizar su rol mitigador, sino también los parámetros resistentes y de durabilidad.
- Objetivo del tratamiento: al generarse un residuo se contempla en general un pretratamiento inmediato. Los productos resultantes de este proceso pueden no ser aptos para las siguientes etapas a que deberá someterse el residuo, por ejemplo un residuo pretratado con cal puede generar condiciones aptas

para seguir el tratamiento con otro aglomerante hidráulico, pero no para una biorremediación.

Es imprescindible definir con anterioridad las características que deberá poseer el residuo una vez tratado en esta etapa inicial. Si el objetivo del tratamiento es la recuperación de algunos de los componentes del residuo, deberá seleccionarse aquel proceso que conduzca directamente a un producto reutilizable o que convierta al residuo en una forma a partir de la cual la recuperación sea la más sencilla.

Se puede lograr inertizar el residuo a la vez que se lo recicla, es decir, someter el residuo a una de las técnicas enumeradas, de manera que, a la vez que se transforma en un nuevo producto se elimina la toxicidad o bien los compuestos contaminantes son destruidos o confinados en una estructura desde la que no representan peligro alguno para el medio.

- Adecuación técnica de las diversas alternativas: lo más probable, para un residuo dado, es que se disponga de más de una alternativa para su tratamiento. No basta que un proceso funcione bien para residuos parecidos, habrá que considerar, por ejemplo, la interferencia de otros componentes que no sean comunes.

La alternativa de incluir un residuo en una obra competirá con otras tales como la incineración, vitrificación, etc; lo esencial será poder calificar las distintas alternativas, a efectos de detectar los posibles beneficios técnicos que el residuo pueda aportar, o los perjuicios o mayores demandas de otros materiales intervinientes que pueda acarrear su presencia. Al incorporar un residuo a la obra se deberá considerar las distintas etapas del proceso constructivo y los riesgos de contaminación asociados a cada uno a efectos de que la propuesta sea viable.

Una de las ventajas de la industria de la construcción es que, al margen de poder absorber una gran cantidad de materiales, admite una gama inmensa de calidades, lo que permite confeccionar distintos materiales cada uno con una calidad adecuada para su prestación en servicio.

Existen variadas tecnologías probadas para el reciclaje de residuos, pero se describen, según el criterio del LEMaC, las más adecuadas para la valorización de los mismos:

- La absorción
- La adsorción
- El intercambio iónico
- La ceramización
- La vitrificación
- Estabilización y solidificación

Se señala en particular la técnica de Estabilización y Solidificación.

La estabilización es una técnica que persigue obtener la fijación química de los contaminantes que pueda contener un residuo, es decir, aquellas técnicas destinadas a reducir el potencial de peligrosidad de un residuo, transformando el contaminante en su forma menos soluble, tóxica o móvil. La naturaleza física del residuo y sus características de manejo no tienen porque ser alteradas por esta técnica. Se suelen usar como sinónimos los términos fijación y estabilización.

La solidificación consiste en un conjunto de técnicas que permite mejorar el manejo y las características físicas del residuo, es decir, aquellas técnicas que encapsulan el residuo sólido en una forma monolítica de alta rigidez estructural. La encapsulación se puede desarrollar en forma de pequeñas partículas de residuo (microencapsulación), o bien en forma de bloques de tamaño apreciable (macroencapsulación). La solidificación no involucra necesariamente una interacción química entre el residuo y el agente solidificante, pero retiene mecánicamente al residuo dentro del sólido obtenido. La migración del contaminante es restringida o bien disminuyendo la superficie expuesta a la lixiviación, o bien, aislando el residuo con una cápsula impermeable.

En el caso particular de un material artificial como el hormigón, los procesos que se desarrollan en el mismo al incorporar un residuo serán:

- Físicos
- Químicos
- Mecánicos

Como se ha señalado, ellos dependerán de la naturaleza del residuo y de la relación entre los otros materiales intervinientes. En forma general puede decirse que de acuerdo a la granulometría, superficie específica y peso específico del residuo variará su acción como adición física. Según sea su composición química y mineralógica, existirá la posibilidad de formación de compuestos más estables, por ejemplo compuestos insolubles.

En general cuando la adición comienza a tener carácter activo podrá existir una combinación entre los cationes del residuo y la fracción alcalina del cemento.

Por lo expuesto, puede decirse que los mecanismos potenciales que dentro de un hormigón se pueden generar engloban no solo la estabilización y solidificación sino también la absorción, adsorción e intercambio iónico.

- Consideraciones económicas: La generación y el tratamiento del residuo en un proceso determinado, estará seguramente valorada en el costo final del producto o servicio entregado. Se concibe hoy en día la suma de los costos ambientales dentro de los gastos generales de la empresa, con esto lo que queda, en general, es buscar alternativas de tratamientos y deposición final que favorezcan el cuadro inicial asumido. Con ello la situación considerada ideal será aquella que adicione al residuo un valor económico residual. Para ello se deben explorar caminos de re-utilización que nos permitan descubrir tal circunstancia.

Todo residuo antes, durante y después de llegar a su deposición final se halla sometido a un conjunto de reacciones químicas, de los agentes meteorológicos y en particular la lluvia. Se define a la *lixiviación* como la capacidad de arrastre de partículas contaminantes por el agua. A partir de este punto la contaminación se multiplicará, de ahí la importancia de los tests de lixiviación.

Si el agua superficial o subterránea se pone en contacto con un material, cada componente del mismo se disuelve a una velocidad finita. Incluso en los residuos

solidificados más impermeables (como arcillas, cemento, vidrio, etc.) el agua puede penetrar en su interior y disolver parte del residuo, por lo que no se puede hablar de materiales completamente insolubles. Así pues, cuando un residuo, tratado o no, se pone en contacto con el agua se puede medir su velocidad de disolución. Este proceso es denominado lixiviación, el agua que inicia el proceso se llama lixivante y al agua contaminada se la denomina lixiviado. La capacidad que tiene un material de lixiviar se lo conoce como lixiviabilidad.

La lixiviación mide, entonces, la capacidad de liberación de una sustancia tóxica a partir de un residuo cuando éste está sometido a determinadas condiciones que se encuentran bien detalladas por la normativa. En general, el test de lixiviación, consiste en mantener el residuo inmerso en agua ligeramente ácida, e ir analizando la calidad de ésta. De allí se deduce que un residuo puede contener una gran cantidad de materia tóxica pero ser inmune a la acción del agua. Otro aspecto es al que se lo denomina carga o potencial de carga contaminante, un residuo puede contener una alta carga contaminante, pero con una capacidad de lixiviación nula, por otro lado, puede contener una baja carga contaminante pero con una capacidad de lixiviar muy alta.

Incorporado el residuo en la obra se tendrá que valorar su comportamiento en servicio dado que el nuevo material estará en contacto con el agua, ya sea de lluvia o de escorrentía, y es por eso que es preciso someter al producto al test de lixiviación para conocer si libera sustancias tóxicas al medio y en que cantidad una vez inertizado o reciclado el residuo en forma de material para la construcción, intentando de esta forma extrapolar que sucederá con los contaminantes cuando se hayan puesto en contacto con el agua.

En el particular el control se puede ejercer mediante el Test de lixiviación, EPA SW-846 Método 1311; el propósito es comparar el nivel de toxicidad con los lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos y especiales, con aplicación a residuos estabilizados y productos reciclados. Desde el punto de vista del procedimiento, la base de fiabilidad de un test de lixiviación es la penetración del agua en el residuo, suelo contaminado, material estabilizado o producto reciclado y analizar el líquido extraído. Hay distintos métodos estandarizados por la EPA de acuerdo a la clase de contaminantes presentes, para el caso de la lixiviación de metales, compuestos orgánicos – inorgánicos el método es el TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedures). El resultado final se compara con listas de contaminantes según los catálogos de las leyes vigentes.

CATALIZADORES

Los catalizadores son cuerpos capaces de modificar la velocidad de reacción, sin aparecer entre los productos finales de ésta. Modificar la velocidad de la reacción, no solo quiere decir aumentarla, sino también retardarla. Los catalizadores se dividen en positivos si aumentan la cantidad de cuerpo formado, en un período dado de tiempo, y en negativos cuando actúan en sentido contrario. Es necesario tener bien presente que los catalizadores no provocan la reacción, lo único que hacen es modificar la velocidad que tiene esa reacción en ausencia de aquellos.

Los catalizadores se utilizan en los procesos petroquímicos de desintegración, reformación de gasolinas, hidrotratamientos, hidrogenación-deshidrogenación, oxidación, alquilación e isomerización, entre otros.

Los procesos denominados de hidrotratamiento, como la hidrodesulfuración y la hidrometalización, tienen como finalidad la eliminación de azufre, níquel, vanadio y hierro, entre otros elementos que acompañan a las moléculas de hidrocarburos que componen el petróleo. Estos procesos permiten eliminar problemas de "envenenamiento del catalizador", utilizado en otros procesos de refinación, debido a la adsorción de dichas impurezas, aumentando así la calidad de los productos y evitando la contaminación atmosférica. En catálisis, el fenómeno catalítico está relacionado con las propiedades físicas y químicas del catalizador.

Es interesante destacar que la presencia de un catalizador en un sistema reaccionante puede dar lugar a la aparición de nuevas formas de reacción, que en su ausencia serían difíciles o prácticamente imposibles de obtener.

La aplicación industrial de un catalizador heterogéneo requiere de la investigación de tres características principales: actividad, selectividad y estabilidad.

La actividad de un catalizador es el número de moles del reactivo que es capaz de transformar él mismo por unidades de tiempo y de masa. Para algunos catalizadores la expresión anterior puede ser corregida por el número de átomos de catalizador que están en contacto con la reacción (turnover number).

La selectividad de un catalizador está relacionada con el efecto orientador de la reacción en una reacción preferente. Un catalizador es más selectivo mientras da mayor cantidad de producto deseado.

Con el tiempo de uso la actividad de un catalizador tiende a disminuir. Esta variación, decreciente y continua del catalizador, se denomina desactivación. Cuando la desactivación se realiza lentamente se llama envejecimiento, en tanto que cuando es brusca, generalmente se trata de un fenómeno de envenenamiento. El fenómeno de desactivación está íntimamente ligado a la estabilidad del catalizador.

La estabilidad de un catalizador es la característica que se relaciona con la vida útil de éste. La recuperación de metales de transición (vanadio, molibdeno, tungsteno, níquel, etc.) a partir de los catalizadores gastados de las refinerías del petróleo es un serio problema industrial, debido a la necesidad de preparar nuevos catalizadores y disponer de enormes cantidades generadas de catalizador desactivado. De acuerdo a los datos reportados, durante el proceso de refinación se involucran diversos agentes lixiviantes oxidantes, que tienen características reductoras y acomplejantes en medios ácidos o básicos y bajo diferentes condiciones térmicas. Entre muchos agentes lixiviantes, las soluciones acuosas de NH_3 , Na_2CO_3 y NaOH son los agentes más usados, debido a su bajo costo y disponibilidad.

Las refinerías usan catalizadores de composición muy variadas, que dependen de factores muy diversos, por ejemplo, el período de utilización del catalizador en el proceso, el método como se elaboró el catalizador, su composición

química, su estructura cristalina, etc. Por lo tanto, los métodos de recuperación existentes deben ajustarse a condiciones industriales determinadas y problemas específicos.

El craqueo ha llegado a ser muy importante en las refinerías de petróleo como un medio de aumentar la producción de gasolina a expensas de productos más pesados y menos valiosos, como el querosén y el petróleo combustible. Los procesos catalíticos más conocidos, que han suplantado con mucho a los antiguos procesos térmicos, son la técnica de lecho fluidizado y la de fluido catalítico, que usan polvos de gel de aluminio-sílice como catalizadores. En el proceso de lecho fluidizado, se pasa el petróleo a través de un lecho estacionario de partículas sólidas; en el proceso de fluido catalítico, las partículas son móviles y están suspendidas en una corriente de vapores de petróleo a una temperatura de 450 ° a 540 °C, y a una presión de 2,4 atmósferas.

La utilización de catalizadores se halla muy extendida en el campo de la obtención y síntesis de productos químicos. Los catalizadores contienen metales específicos para la labor que deben realizar, siendo los más frecuentes: V, Ni, Ti, Co, Mo, W, etc. Cuando los metales presentes en la materia prima, por ejemplo, en el crudo del petróleo, inhiben la labor de los metales catalizadores, éstos deben sustituirse al perder la capacidad para realizar sus funciones básicas, debiéndose tratar éstos como residuos.

El proceso básico para su recuperación consiste en la fusión del catalizador agotado. Los metales constituyentes presentan un elevado punto de fusión y por lo tanto el consumo energético es muy elevado (del orden de las 7000 kcal/kg), por ello se procura añadir carbón que además de actuar como agente reductor aporta un importante poder calorífico, lo que contribuye a disminuir el consumo global del proceso. Cuando el soporte del catalizador es alúmina, el sistema de recuperación tradicional, consiste en la adición de cal para reducir el punto de fusión desde 2000 a unos 1500 °C, simultáneamente se añade carbón para favorecer la reducción de los óxidos a metales. Con estos procesos las tasas de recuperación no suelen superar el 50%.

La industria química genera una gran cantidad de residuos en forma de material filtrante y catalizadores agotados. Aunque aparentemente sea un contrasentido, a medida que se depura más, más importante es la cantidad de residuos sólidos, el hecho radica en que el producto contaminante queda retenido en el soporte filtrante.

En el caso de los catalizadores, uno de los problemas más importantes es la gran especialización en los metales que componen los catalizadores, circunstancia que complica la valorización.

Para el caso de catalizadores agotados FCC las posibles alternativas de valorización son como recuperación de metales y como materia prima en cementeras.

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

Catalizador agotado

DETERMINACIONES QUÍMICAS

Determinación	Unidades	Valor
pH	---	6.1
Conductividad	μS	510
Volátiles a 550 °C	% P/P	0.83

La determinación analítica de pH y Conductividad se realizó por método instrumental con Equipo: Mettler – Toledo AG - Chek-Mate 90 - Orion 115

Determinación de Valores totales de su Composición

La tabla siguiente refleja los contenidos totales de los componentes evaluados por la empresa. Son valores promedio del seguimiento ejecutado en un período de prácticamente tres años. En forma expresa se resaltaron los compuestos de SiO_2 y Al_2O_3 para reflejar el alto contenido porcentual en que intervienen en el material, siendo esto característico del tipo de catalizador; lo que lo hace perfectamente compatible con arenas y arcillas en función de su composición química.

Compuesto	Ni ppm	V ppm	Sb ppm	Sn ppm	Na wt %	Cu ppm	MgO ppm	Mn ppm	Pb ppm	ZnO ppm
Valores Promedios	331,08	730,89	17,15	5,14	0,34	47,49	512,89	35,00	49,48	386,70

Compuesto	Sm_2O_3 wt %	K_2O wt %	La_2O_3 wt %	CeO_2 wt %	Pr_6O_{11} wt %	P_2O_5 wt %	Nd_2O_3 wt %	TiO_2 wt %	Ba wt %
Valores Promedios	0,01	0,07	0,84	0,23	0,08	0,58	0,07	1,43	0,00

Compuesto	RE_2O_3 wt %	Fe wt %	CaO wt %	SO_4 wt %	Carbón wt %	Al_2O_3 wt %	SiO_2 wt %
Valores Promedios	1,24	0,58	0,11	0,06	0,08	38,95	54,99

Determinación de Lixiviados

Determinación de cationes pesados Lixiviados, titulación por absorción atómica sobre concentrado. Procedimiento de extracción TCLP EPA 1311. Fluido de extracción N° 1.

Catión	Símbolo	Contenido (ppm)
Cobre	Cu	0.07
Cadmio	Cd	0.01
Cinc	Zn	0.11
Cobalto	Co	0.10
Cromo	Cr	< 0.20
Manganeso	Mn	0.18
Níquel	Ni	0.14
Plata	Ag	< 0.02
Plomo	Pb	< 0.10
Vanadio	V	< 0.10

Determinación de Hidrocarburos Totales

Determinación de Hidrocarburos Totales según EPA 3550, método 418.1 de extracción de sólido – líquido por sonicación.

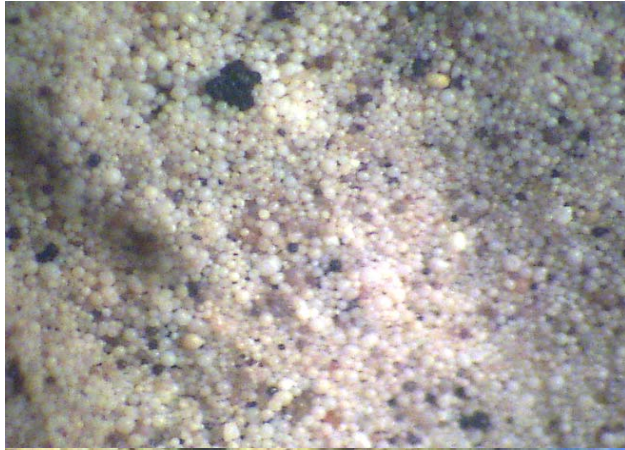
Determinación	Unidad	Valor
Hidrocarburos Totales	ppm	21.85

DETERMINACIONES FÍSICAS

Ensayo	Constantes Físicas				Clasif. HRB	PUV gr/cm ³		Pe gr/cm ³	Absorción %	Equivalente Arena %
	LL	LP	IP	PT200		Suelto	Comp..			
Valor	--	--	0	51.2	A-4 (3)	0.89	0.94	2.42	13.5	0
Norma	VN-E2	VN-E3	IRAM 1540	VN-E4	IRAM 1548	IRAM 1520		IRAM 1682		

Granulometría (Norma IRAM 1505)

Tamiz IRAM N°	Pasa (%)
10	100
40	99.8
80	99.1
100	98.4
200	51.2



A. Observación de catalizador en Lupa Binocular 30 aumentos. Muestra húmeda. Luz Reflejada.



B. Observación de catalizador en Lupa Binocular 30 aumentos. Muestra seca. Luz Reflejada.



C. Observación de catalizador en Lupa Binocular 30 aumentos. Muestra seca. Luz Lateral.

Cemento portland

Se empleó un cemento portland con filler calcáreo CPF40.

Peso específico = $3,10 \text{ kg/dm}^3$ (IRAM 1624)

Retenido sobre Tamiz N°200 ($75 \mu\text{m}$) = 1,28 % (IRAM 1621)

Cumple con la Norma IRAM 50000, cuyos requisitos se indican en la siguiente tabla:

Agregados

Agregado grueso - Piedra partida granítica 6:20

Peso específico = 2,719 kg/dm³ (IRAM 1533)
PUV (seco a peso constante y compactado) = 1,535 kg/dm³ (IRAM 1548)
Absorción = 0,3 % (IRAM 1533)
Pasa Tamiz N ° 200 (75 μm) = 0,5 % (IRAM 1540)
Módulo de finura = 6,9
Tamaño máximo = 19 mm

Agregado fino

El agregado fino empleado en todas las dosificaciones resultó de una mezcla de dos arenas silíceas de distintos módulos de finura, utilizándose un 63 % de arena gruesa y un 37 % de arena fina, obteniéndose un módulo de finura resultante de la mezcla igual a 2,40.

Arena silícea gruesa

Peso específico = 2,615 kg/dm³ (IRAM 1520)
PUV (seco a peso constante y compactado) = 1,693 kg/dm³ (IRAM 1548)
Absorción = 0,6 % (IRAM 1520)
Pasa Tamiz N ° 200 (75 μm) = 0,05 % (IRAM 1540)
Módulo de finura = 3,1 (IRAM 1505)

Arena silícea fina

Peso específico = 2,649 kg/dm³ (IRAM 1520)
PUV (seco a peso constante y compactado) = 1,628 kg/dm³ (IRAM 1548)
Absorción = 0,4 % (IRAM 1520)
Pasa Tamiz N ° 200 (75 μm) = 2,5 % (IRAM 1540)
Módulo de finura = 1,2 (IRAM 1505)

Aditivos químicos

Fueron utilizados dos tipos de aditivos superplastificantes para el hormigón de distinta base química, uno de alto rango de reducción de agua y otro de muy alto rango de reducción de agua, denominado de última generación.

Aditivo reductor de agua de alto rango

Peso específico = 1,221 kg/dm³ (IRAM 1663)
Residuo sólido = 41,0 % (IRAM 1663)
Color = Marrón oscuro
Base química = melamínico sulfonado
Dosis recomendada = 0,8 a 2,0 % en volumen respecto al contenido en peso del cemento

Aditivo reductor de agua de muy alto rango

Peso específico = 1,081 kg/dm³ (IRAM 1663)

Residuo sólido = 34,9 % (IRAM 1663)

Color = Blanco opaco

Base química = éter policarboxílico modificado

Dosis recomendada = 0,2 a 0,8 % en volumen respecto al contenido en peso del cemento

Agua

Se empleó agua potable de la red. Cumple con los requisitos de la Norma IRAM 1601.

METODOLOGÍA UTILIZADA

Los puntos principales considerados en la metodología son los siguientes:

1. Se realizó una dosificación de hormigón sin residuo para fundaciones empleando el método racional del ACI 211. Este hormigón fue empleado como modelo para efectuar las comparaciones con los hormigones resultantes de adicionar distintos porcentajes de residuo a los pastones de prueba.
2. Como se supuso que la estructura podría estar expuesta a la acción de sulfatos y el método citado, en ese caso, fija la relación agua / cemento máxima en 0,45, se trabajó con dosificaciones en ese entorno.
3. Se adoptó como criterio para la incorporación del residuo a las mezclas en estudio, hacerlo como un porcentaje del cemento en peso y en reemplazo de la arena fina en el hormigón patrón.
4. Se agregaron a las mezclas distintos porcentajes de residuo, generando los siguientes hormigones:
 - Hormigón con 0% de catalizador agotado (patrón)
 - Hormigón con 10% de catalizador agotado
 - Hormigón con 20% de catalizador agotado
 - Hormigón con 30% de catalizador agotado
5. Se puso especial énfasis en el estudio de hormigones con un contenido de residuo del 20%, por considerarlo el porcentaje más conveniente de incorporación.
6. En todos los casos fue incorporada a la mezcla el agua de absorción del residuo con el fin de evitar que el mismo consuma parte del agua estimada para la trabajabilidad de las mezclas.

7. Los pastones 0 a 5 se elaboraron con un mismo contenido de cemento y en los siguientes se disminuyó su cantidad en un 10 %, pero manteniendo constante la relación agua/ cemento.
8. En los pastones 4 a 11 se utilizó el aditivo superplastificante reductor de agua de alto rango. En estos casos se utilizó aproximadamente la dosis máxima recomendada por el fabricante del aditivo (2 % respecto del peso del cemento).
9. En el caso de los pastones 11 y 12 el residuo se utilizó saturado. Al realizar la mezcla se corrigió su contenido de agua teniendo en cuenta la que aporta el residuo en estado húmedo.
10. En los pastones 12 y 13 se incorporó el aditivo reductor de agua de muy alto rango. En esta oportunidad, la dosis de aditivo utilizada fue la máxima recomendada por el fabricante del producto (0,8 % respecto del peso del cemento).
11. En el caso del pastón 14 se repitió el pastón 6, es decir, una mezcla sin residuo incorporado, pero esta vez utilizando el aditivo superplastificante de muy alto rango de reducción de agua. Como resultado se obtuvo un hormigón que en estado fresco presentó exudación excesiva y segregación.
12. En el caso del pastón 15 se repitió la dosificación del pastón 12, verificándose resultados similares, en el hormigón en estado fresco, a aquellos obtenidos en oportunidad de su confección. El residuo fue empleado, como en el caso del pastón 12, saturado en agua.

DOSIFICACIONES REALIZADAS

La tabla siguiente contiene las proporciones de los materiales empleados en cada una de las dosificaciones realizadas.

PASTON	Residuo % en peso	Cemento [kg]	Agua [litros]	Piedra [kg]	Arena G. [kg]	Arena F. [kg]	Residuo [kg]	Aditivo [litros]	a/c
0	0	411	185	1036	461	276	0	0,0	0,45
1	10	411	185	1036	461	235	41	0,0	0,45
2	20	411	185	1036	461	194	82	0,0	0,45
3	30	411	195	1036	461	153	123	0,0	0,47
4	20	411	185	1036	461	194	82	6,6	0,45
5	30	411	185	1036	461	153	123	6,6	0,45
6	0	370	167	1036	521	310	0	5,9	0,45

7	20	370	167	1036	521	236	74	5,9	0,45
8	30	370	167	1036	521	199	111	4,7	0,45
9	30	370	167	1036	521	199	111	5,9	0,45
10	20	370	167	1036	521	236	74	5,9	0,45
10*	20	370	173	1036	521	236	74	5,9	0,47
10**	20	370	179	1036	521	236	74	5,9	0,48
11	20	370	167	1036	521	236	74	5,9	0,45
12	20	370	167	1036	521	236	74	3,0	0,45
13	30	370	185	1036	521	199	111	3,0	0,50
14	20	370	167	1036	521	310	0	3,0	0,45
15	20	370	167	1036	521	236	74	3,0	0,45

Observaciones:

1. El aditivo utilizado en las mezclas 4 a 11 es el superplastificante reductor de agua de alto rango (base melamínica).
2. El aditivo utilizado en las mezclas 12 a 15 es el superplastificante reductor de agua de muy alto rango (base acrílica).

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO

Se evaluó la fluidez de la mezclas mediante el ensayo de asentamiento con el tronco de cono de Abrams. El porcentaje de aire incorporado se determinó utilizando el aparato de Washington.

La tabla siguiente expresa los valores obtenidos en las determinaciones realizadas sobre el hormigón en estado fresco.

Pastón	Asentamiento a los 10 minutos [cm]	Asentamiento a los 30 minutos [cm]	% Aire (Washington)	PUV [kg/m ³]
0	15	---	2,5	2377
1	10	---	2,2	2391
2	7	---	2,0	2448
3	7	---	2,8	2363
4	22	---	4,1	2349
5	21	---	3,5	2349
6	22	---	7,5	2306

7	19	---	6,5	2363
8	6	---	3	2377
9	6	---	2,9	2391
10	21	0,5	---	---
10*	---	---	---	---
10**	---	---	---	---
11	16	2	---	---
12	25	19	4	2377
13	3	---	---	---

VII.3. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO

Se confeccionaron probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro x 20 cm de altura para efectuar el ensayo de resistencia a la compresión. Los ensayos de resistencia a tracción por compresión diametral y módulo de elasticidad, se realizaron sobre probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro x 30 cm de altura. Estos dos últimos ensayos se practicaron a la edad de 28 días.

La tabla que se muestra a continuación expresa los valores de las resistencias mecánicas obtenidas de los ensayos realizados sobre el hormigón en estado endurecido.

Pastón	Resistencia a compresión (MPa)			Res. a tracción (MPa)	Módulo de Elast. (MPa)
	3 días	7 días	28 días		
	f'_{cm}	f'_{cm}	f'_{cm}		
0	19.7	29.9	35.4	2.9	24623
1	21.0	25.9	37.5	3.8	24364
2	18.1	24.1	41.2	3.6	22889
3	15.4	27.7	43.3	3.4	25115
4	20.6	31.4	40.1	3.5	28704
5	20.2	26.7	41.8	2.8	26687
6	18.7	28.7	32.1	2.6	22418
7	19.5	32.1	40.0	3.2	24444
8	18.4	26.2	40.4	3.4	27511
9	19.3	27.0	37.9	3.1	25689
10	---	34.5	---	---	---
10*	---	35.3	---	---	---
10**	---	29.2	---	---	---

11	23.9	29.0	39.5	3.3	2563
12	23.6	33.0	46.2	3.6	2748
13	23.2	33.4	42.5	3.5	2901

LIXIVIADOS SOBRE EL HORMIGÓN

1. Determinación de cationes pesados por lixiviación (Procedimiento de extracción TCLP EPA 1311, absorción atómica sobre concentrado).

Catión	Símbolo	Contenido (ppm)
Cobre	Cu	< 0,02
Cadmio	Cd	0,01
Cinc	Zn	0,06
Cobalto	Co	0,07
Cromo	Cr	< 0,20
Manganeso	Mn	< 0,11
Níquel	Ni	< 0,10
Plata	Ag	< 0,02
Plomo	Pb	< 0,10
Vanadio	V	< 0,10

2. Determinación de hidrocarburos totales (HT) (EPA 3550, método 418.1).

Determinación	Unidad	Valor
H. T.	ppm	12,17

PERMEABILIDAD

La determinación de la permeabilidad en el hormigón endurecido, se realizó con el método de la penetración de agua a presión de la norma IRAM 1554.

La forma y la profundidad de la penetración del agua, en el hormigón endurecido, configura un diagrama característico de la estructura que lo integra, que permite evaluar su calidad, con respecto a la permeabilidad.

Pero debe dejarse establecido que en el caso de agresión química al hormigón, la pequeña permeabilidad del mismo, es una condición necesaria pero no suficiente.

El método consiste en forzar la penetración de agua en una sección determinada que será función del diámetro o lado de la probeta.

La determinación se realizará a la edad de 28 días, salvo especificación particular de otra edad. Las presiones y el tiempo se indican en la Tabla II de la Norma de ensayo.

La medida de penetración máxima del agua en el hormigón estará dada por el valor medio del frente de penetración en cada probeta.

La media aritmética se obtiene del relevamiento del contorno del frente de penetración de agua, marcado en plano de fractura.

En el estudio de los hormigones con y sin catalizador los valores de la penetración máxima de agua en el hormigón endurecido en ambos casos fueron menores que 20 mm. En todos los casos estudiados la media aritmética de penetración de agua no supero el valor de 20 mm.

Las probetas utilizadas en las experiencias son cilíndricas de 15x30, se curaron a 22°C y 90 % de humedad hasta la edad de ensayo (28 días). El agua empleada en los ensayos fue agua para análisis y la temperatura de la sala de ensayo 23°C y 50-60% de humedad relativa ambiente.

La dirección de penetración del agua fue paralela a la dirección de llenado de las probetas de hormigón. Debe tenerse en cuenta que el factor de tortuosidad, en razón de la dirección de colada, depende de las características de esta, influyendo en la permeabilidad del hormigón.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Hormigón en estado fresco

1. En los pastones 4 a 11, donde se utilizó el aditivo superplastificante reductor de agua de alto rango, se advierte un notable aumento de fluidez respecto de mezclas similares sin aditivo. Sin embargo, es preciso destacar que los asentamientos fueron medidos sobre muestras de hormigón fresco inmediatamente después de efectuado el mezclado del hormigón, observándose una rápida pérdida de fluidez del hormigón con residuo incorporado. Por ejemplo la mezcla 10, con un asentamiento instantáneo de 21 cm, al cabo de 30 minutos presentó un asentamiento cero.
2. Cuando el residuo se utilizó en estado saturado (con 24 horas de inmersión), se observa un mejor comportamiento del hormigón en estado fresco frente a los hormigones en los cuales el residuo se introdujo en estado seco en la hormigonera, adicionándole el agua de saturación como parte del agua de mezclado. Podrían explicarse estos resultados por un gradiente de absorción que presentaría el aditivo. El material inicialmente incorporaría un gran volumen de agua en sus poros, luego tendría una etapa de menor velocidad de absorción, pero que sería determinante en la cantidad de agua que lubrica la mezcla, la que iría disminuyendo progresivamente en el tiempo.
3. En el caso del pastón 11, aún cuando se incorporó el residuo saturado, se produjo una importante pérdida de asentamiento en el tiempo. Este efecto podría ser atribuido a algún tipo de interacción entre el aditivo y el catalizador, que disminuiría la cantidad de superplastificante que dispersa las partículas de cemento. Es decir que el aditivo se adsorbería sobre el catalizador en

lugar de hacerlo sobre el cemento. El efecto mencionado no se presentó en el pastón 12, donde se usó el aditivo reductor de agua de muy alto rango y el asentamiento se mantuvo alto. Nótese que ambos compuestos poseen distinta base química.

Hormigón en estado endurecido

1. La variación de resistencia a compresión debido a la incorporación del catalizador puede llegar hasta el 25% del valor correspondiente al pastón patrón.
2. Si se estudia la evolución de resistencia con la edad, puede notarse que a edades tempranas, la incorporación del catalizador disminuye la resistencia, pero a edades avanzadas las aumenta. Esto podría deberse a un efecto causado por la disminución de la finura media de los agregados cuando se incorporan porcentajes del residuo.
3. Para edades tempranas, donde la adherencia matriz-agregado es baja, la incorporación del residuo influye negativamente en la resistencia. Para edades avanzadas, donde la adherencia entre la matriz y el agregado se ha desarrollado ha aumentado ante la hidratación más completa del cemento, el catalizador actúa causando un efecto de llenado de espacios que aumentaría la resistencia del hormigón.
4. Este efecto de llenado parece verse reflejado en los valores del módulo de elasticidad, que son mayores para porcentajes de incorporación de residuo más altos. Por otro lado, debido a que el residuo posee una mayor absorción de agua que la arena silíceo, esta característica también sería determinante, quizás la más importante, de la ganancia y evolución de resistencia.

CONCLUSIONES

Del estudio realizado sobre los hormigones obtenidos empleando el residuo, se desprenden las siguientes conclusiones:

1. De acuerdo a lo expuesto en el punto III (*Materiales componentes, 4. Adiciones Físicas*), el catalizador agotado se ha comportado como una adición física. Los efectos de su incorporación en el hormigón en los estados fresco y endurecido pueden considerarse parcialmente evaluados en este estudio.
2. En lo referente a las propiedades del hormigón en estado fresco, es recomendable la utilización de un aditivo de última generación para que la mezcla con residuo incorporado posea una buena trabajabilidad durante un tiempo que permita realizar las operaciones de transporte, colado, compactación y acabado. En todos los casos es imprescindible efectuar un análisis de compatibilidad entre el aditivo a utilizar y la pasta cementicia adicionada con el residuo, debido a que existen diferencias de comportamiento cuando se utilizan distintos tipos de aditivo, con la consideración de las distintas eficiencias que cada producto posea.

3. Se impone como condición esencial, de acuerdo con la experiencia recogida en el laboratorio, que el residuo se incorpore a la mezcla saturado en agua, dado que cuando no se lo hizo el hormigón perdió fluidez rápidamente. Este requisito es importante para que puedan efectuarse correctamente las tareas de colocación y compactación del hormigón.
4. En cuanto al estado endurecido, la incorporación del residuo al hormigón sería favorable desde el punto de vista de sus propiedades mecánicas. En ningún caso la adición del catalizador disminuye la resistencia del hormigón, cuando es incorporado con la metodología apropiada..
5. Cabe destacar que estas aseveraciones resultan válidas sólo para el conjunto de materiales utilizados. Por ello se estima necesario realizar ensayos sobre pastones confeccionados en laboratorio, con los mismos materiales a emplear en obra, previamente a la utilización del hormigón con el residuo incorporado.
6. Desde el punto de vista ambiental las mezclas propuestas cumplen con todos los parámetros exigidos en la ley 24051, tanto para cationes como para los contenidos lixiviados de hidrocarburos totales.

Consideraciones finales

En base a las conclusiones obtenidas de los estudios realizados en el LEMaC, se observa factible la utilización del catalizador agotado en el hormigón.

Con los materiales utilizados en este trabajo la dosificación recomendada para la utilización del catalizar en hormigones de plateas es la identificada como Pastón 12 que permite la inclusión de un 20% de catalizador en reemplazo del fino del hormigón, teniendo en cuenta que el mismo debe colocarse en la hormigonera saturado.

Para el empleo del residuo en el hormigón, será necesario redactar un pliego de especificaciones técnicas adecuado a las conclusiones del presente trabajo.

Se debe ensayar la dosificación del hormigón con el residuo incorporado con una antelación de 30 días a la fecha de iniciación de las obras, utilizando los materiales con los que se va ha elaborar finalmente el hormigón.