

Reuso de finos de catalizador gastado de FCC en el sector alfarero

by Jesús Antonio Lobo García - Thursday, November 09, 2017

<https://vinculando.org/empresas/reuso-de-finis-de-catalizador-gastado-de-fcc-sector-alfarero.html>



Título original: Estudio de reuso de finos de catalizador gastado de FCC de Refinería El Palito para su aprovechamiento en el sector alfarero, como mecanismo para la minimización de riesgos ambientales.

Tutor: Ing. Luz Alejandra Gómez. **Autor:** Ing. Jesús Antonio Lobo García

Trabajo Especial de Grado presentado ante la Universidad Bolivariana de Venezuela como requisito para optar al título de Especialista en Ambiente y Procesos Industriales. Caracas, Julio de 2012

Las imágenes y tablas de esta tesis se pueden consultar en el documento original (formato .zip), al final de esta página.

Dedicatoria

Para todas aquellas personas que se sientan investigadores, para aquellos que no se conforman con la verdad absoluta, para todos aquellos que se autocuestionan, incluso lo que creen haber hecho adecuadamente, para quienes creen que sus acciones por diminutas pueden hacer cambiar conductas. Para que la constancia y perseverancia no decaiga y sea una herramienta innata del individuo consciente que necesario es cambiar nuestra realidad.

Todo lo que somos es el resultado de lo que hemos pensado; está fundado en nuestros pensamientos y está hecho de nuestros pensamientos.

Buda (563 AC-486 AC) Fundador del budismo.

Agradecimientos

- Agradezco a Dios por enseñarme y guiar mis pasos hacia el camino de una existencia llena de amor, paz y felicidad.
- A mis padres y familiares por servirme de apoyo, ante mis decisiones y estar siempre presentes al necesitarlos.
- A mis compañeros de trabajo, como integrantes de un equipo unido de la Gerencia de Ambiente.
- A mis tutores, por saberme guiar en el desarrollo de mi investigación y brindarme los recursos, el apoyo y la asesoría necesaria para cumplir con esta meta.
- A mis compañeros y docentes de la Especialización de Ambiente y Procesos Industriales de la Universidad Bolivariana de Venezuela, por ser un gran apoyo y haber sabido aportar lo necesario para el desenvolvimiento del presente trabajo de investigación.
- A todas las personas que de una u otra manera han dado el aporte necesario para ser reflejado de la forma más conveniente en mi investigación.

"La educación e instrucción pública son el principio más seguro de la felicidad general y la más sólida base de la libertad de los pueblos."

Simón Bolívar (1.783-1.830)

Resumen

El catalizador de FCC es un polvo blanquecino de composición sílica alúmina de diámetro aerodinámico de 65 a 80 micrones (μm), se comporta como un fluido y reacciona fraccionando las moléculas de hidrocarburo, y en este proceso se desgasta a fracciones más pequeñas de 5 a 20 micrones (μm) y son expulsados junto con los gases de combustión por la chimenea B-6102a razón estimada de 3, 5 Ton/día, cuya cantidad varía constantemente dado las actividades operacionales de la planta de FCC, lo cual podría reducirse las emisiones con la puesta en funcionamiento del precipitador electrostático el cual está diseñado para recolectar éstos finos y permitir que solo se escapen una cantidad máxima de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ de acuerdo con el Decreto N° 638 sobre "Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica".

Al escaparse los finos de catalizador se incorporan con la humedad del aire y se precipitan, contaminando la vegetación, el suelo, y percolándose hacia cursos hídricos subterráneos, además alterando la calidad del aire y exponiendo a los trabajadores de PDVSA y a su comunidad circunvecina, al riesgo por inhalación de esa fracción respirable de material particulado.

Sucede igualmente, que cuando el precipitador electrostático se encuentra operativo, se depositan los finos en tolvas y ello amerita una manipulación por parte del personal encargado en su debido envasado, para de acuerdo con el Decreto N° 2.2.16 y N° 2.635, poder ser dispuestos bajo criterios de seguridad y salud, identificándolos y almacenándolos de forma temporal en espacios autorizados por la Gerencia de Ambiente de Refinería El Palito, de acuerdo con condiciones óptimas que permitan desarrollar las estrategias para visualizar su mejor disposición final.

Han sido visualizadas en investigaciones anteriores, algunos usos prácticos para los finos de catalizador de FCC en la industria del cemento, la cerámica y la metalurgia, sin embargo, el investigador desarrolla una propuesta innovadora que permita recuperar éstos finos en el sector alfarero, en organizaciones cooperativas y/o empresas, bien sea a escala industrial o artesanal, considerando que posean la respectiva permisología ambiental o RASDA,

para poder constituirse en potenciales manejadores de materiales y desechos industriales.

Aunque no exista un registro médico certificado por alguna organización internacional que refiera las implicaciones por manipulación de finos de catalizador de FCC, el investigador sugiere hacer uso siempre de una mascarilla de protección respiratoria contra polvo de sílice o alúmina, debido a su granulometría diminuta y su comportamiento aerodinámico de movilizarse y esparcirse libremente por el aire.

El catalizador gastado de FCC se ha concebido ser reusado y aprovechado de acuerdo con la respectiva y previa caracterización físico química realizada en año 2009 por Hidrolab Toro e INTEVEP, donde se refiere poseer una acidez de 4,75 de pH; los análisis de metales totales y de metales en lixiviado están por debajo de lo reglamentado, así como también las corridas cromatografías realizadas en muestra real para los análisis de compuestos aromáticos policíclicos describen valores inferiores a los reglamentados en el Decreto N° 2.635.

La misma caracterización muestra que solamente la concentración de cromo (62.3 mg/kg) relativa a metales totales excede el valor reglamentado por el referido decreto ambiental, y esto se justifica dado que el catalizador en su proceso de craqueo se contamina por la presencia de metales pesados en el hidrocarburo, y éstos desactivan su acción de craqueo.

Las empresas contactadas en el aprovechamiento del desecho, ubicadas dentro y en las adyacencias del Circuito Social El Palito, han concluido no poder reusar el mismo, dado que no es funcional en términos de calidad y dureza de los productos elaborados y otras implicaciones de índole operativos de las mismas.

Palabras clave: Finos, catalizador gastado, FCC, caracterización, valor reglamentado, RASDA.

Introducción

PDVSA-Refinería El Palito, como industria transformadora de materia prima (Hidrocarburos), genera una corriente de desechos que de acuerdo con el marco jurídico venezolano, debe ubicarse la manera más óptima para su disposición final, de forma tal que se asegure que los elementos constituyentes del agente contaminante no represente un riesgo para la salud del hombre y del estado natural de los ecosistemas. Partiendo de ello, se visualiza el reuso de materiales y se perfila como una alternativa sustentable desde el punto de vista ambiental. Este reuso tiene que ver con el aprovechamiento del material, que *per sé* es un desecho, pero posee características físico-químicas que pudiesen ser de gran utilidad para otros sectores económicos productivos.

Al reusar los desechos industriales se disminuyen las tasas de generación, se controla el inventario de existencias, se supervisan las facilidades de espacio para su almacenamiento, se cumple con el marco jurídico ambiental (Específicamente Decreto N° 2.635); además que se resguarda la salud de los trabajadores de la corporación PDVSA y sus comunidades pertenecientes al Distrito Social El Palito.

El reuso de los finos de catalizador gastado de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) de la Refinería El Palito según la propuesta de la presente investigación, como una política ambiental de gestión y manipulación de estos desechos recuperables, se enfoca en su aprovechamiento dentro del sector alfarero, asumiendo las potencialidades del desecho, dadas por su propia composición físico-química de estar constituidos básicamente por alúmina y sílice; permitiéndose así poder ser dispuesto dentro de un sector productivo diferente al de refinación petrolera.

El presente trabajo de investigación se estructura en varias secciones, donde el Capítulo I, describe la problemática, refiere los objetivos, detalla el contexto de acción y refiere la pertinencia del documento.

En el siguiente Capítulo II, se señalan los antecedentes de la investigación, se analiza el marco teórico referencial y

se detalla el marco epistemológico.

El Capítulo III tiene que ver con la metodología y es donde se detalla cada una de las fases que han permitido el desarrollo de la investigación de forma secuencial.

En el Capítulo IV, se muestran los resultados que refieren aspectos sobre el potencial de aprovechamiento de los finos de catalizador gastado de FCC, basados en caracterizaciones físico-químicos requeridas por la legislación nacional e internacional y en criterios de operatividad de las empresas alfareras.

Finalmente el Capítulo V, tiene que ver con las conclusiones a las cuales se ha llegado luego de haberse sometido a análisis el tema de investigación y se exponen una serie de recomendaciones relacionadas a contribuir con el avance de la investigación.

Capítulo I: El problema

Descripción de la Problemática

Los desechos sólidos provenientes de los procesos productivos de la industria petrolera, se constituyen como materiales o productos considerados sin utilidad inmediata, para las cuales no se prevé un destino directo y requieren ser dispuestos en virtud de lo establecido en la legislación ambiental venezolana, como orden expresa y directa de lo reflejado en nuestra Carta Magna.

Dadas las características de peligrosidad de los desechos, éstos deben ser almacenados bajo criterios especiales que impidan la dispersión de sus elementos constituyentes en el ambiente, bajo criterios de incompatibilidad mutuos y debidamente envasados e identificados como lo expresa el Decreto N° 2.635 “Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos”⁽¹⁾, y el procedimiento interno de Refinería El Palito, RFEP-ISHA-004 “Manejo y Disposición de Desechos”⁽²⁾, en tambores metálicos debidamente pintados e identificados con el nombre del desecho, unidad generadora y fecha de envasado, colocados en paletas de madera hasta un máximo de dos (2) niveles de altura.

Entonces, debido a la necesidad de envasado de los desechos peligrosos, las altas tasas de generación y deficiencia en el cumplimiento de la permisología ambiental que exige el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente a las empresas recuperadoras, existe actualmente en PDVSA-Refinería El Palito, un alto inventario de desechos, dejando poco espacio para la disposición de futuros desechos. (Ver Gráfico N° 1). Esta situación ha permitido la visualización de mejores y más eficientes estrategias en la recuperación, reuso y aprovechamiento de tales desechos, en sectores industriales que verdaderamente pudiesen introducir tales desechos peligrosos como parte de la materia prima requerida en la obtención de sus productos, y asegurándose que las características peligrosas no representen ningún tipo de afectación a la salud humana y de la vida en general, y no contravengan con los principios de conservación del ambiente.

Gráfico N° 1. Disposición de finos de catalizador gastado de FCC-Fase almacenamiento temporal.

Fuente: Gerencia de Ambiente (2012).

Además de lo mencionado anteriormente, las comunidades del área de influencia de la refinería se ven perjudicadas por la dispersión de las partículas de los finos de catalizador gastado en el aire, que expulsa la chimenea B-6102 asociada al sistema, debido a que no se encuentra operativo el precipitador electrostático M-6143 que permite según su filosofía operacional, minimizar la cantidad de finos que se escapan a la atmósfera por la mencionada chimenea de la Unidad de FCC.

Es importante saber que éstos finos de catalizador, que son considerados no peligrosos y que se constituyen en material particulado, son emitidos a la atmósfera acompañados de gases de combustión como CO, CO₂, SO_x y NO_x (Cuyas concentraciones pudiesen exceder o no, el valor reglamentado por el Decreto N° 638 sobre el control de la contaminación atmosférica), afectando la calidad del aire del área de influencia de la refinería, específicamente de las comunidades de El Palito, Puerto Cabello y Morón en el Estado Carabobo. Actualmente en el año 2012, el Precipitador Electroestático se encuentra en mantenimiento y esta alineado al Plan de Adecuación Ambiental presentado ante el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, que permitirá mejorar a futuro esta condición ambiental.

Adicional a las tasas regulares de generación de finos de catalizador gastado, se suman aquellas asociadas con paradas de planta programadas o no programadas, donde los niveles aumentan excesivamente y ello representa un situación que demanda con prontitud la disposición de tales finos de catalizador gastado, porque ocupan mayor espacio en las instalaciones destinadas para su almacenamiento temporal, poseen la capacidad de dispersarse por el aire debido a su diminuta granulometría, afectando no sólo la salud de los trabajadores, sino más bien, de las comunidades cercanas al área de influencia de la refinería, y aunado a ello, éstos finos pudiesen percolarse en las capas superficiales del subsuelo y afectar a la vegetación de los ecosistemas, cuando éstos se precipitan.

Resulta importante referir que de acuerdo con el Decreto N° 2.635, las condiciones que le otorgan peligrosidad o no a un desecho vienen dadas básicamente por su composición físico-química y no por las derivaciones que este desecho pueda desencadenar al ambiente por su manipulación. Asumiendo lo anterior se entiende que los finos de catalizador gastado de FCC se constituyen en un desecho no peligroso según la normativa ambiental antes mencionada, que dado a su diminuta granulometría (5 a-20 micrones), entra en rango de material particulado según el Decreto N° 638, y es sabido que ello genera una condición de posible riesgo ambiental por su manipulación, al poder ser inhalado por exposiciones prolongadas a su presencia, siendo esta una condición de higiene ocupacional que no corresponde al alcance de la presente investigación.

Independientemente de la naturaleza de peligrosidad de los desechos industriales, de su composición química, o de sus características físicas, en Venezuela, son varias las alternativas existentes en su recuperación y manejo, las cuales son desarrolladas por empresas de distintos ámbitos de la economía industrial, siempre que cuenten con los requisitos legales que exige el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, como lo es el RASDA o Registro de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente, que asegure que están autorizados como manejadores de materiales y desechos.

Los desechos recuperables son aprovechados, como su nombre lo indica, al poseer características que revisten de utilidad tanto para su regeneración dentro del mismo proceso industrial que le ha dado origen, así como también para su uso en otro proceso diferente.

Petróleos de Venezuela (PDVSA), según la Gerencia de Ambiente de Refinería El Palito, maneja una enorme cantidad de recursos e insumos que bajo procesos productivos diversos, generan una considerable proporción de desechos, tanto así, quemuchos, se han convertido en pasivos ambientales que requieren ser dispuestos, ajustándose a una política corporativa que permita: (a) cumplir con las regulaciones ambientales vigentes; (b) eliminar y minimizar los impactos generados por los desechos sólidos en el ambiente y la salud de la población; (c) reducir los costos asociados con el manejo de los desechos sólidos y la protección al entorno ecológico, incentivando a sus trabajadores a desarrollar innovaciones para reducir la generación de los desechos e implementar una adecuada disposición final; (d) realizar un inventario y monitorear los desechos generados en las diferentes actividades de la organización, (e) disponer adecuadamente los desechos y monitorear adecuadamente su Plan de Manejo de Desechos Sólidos para asegurar su cumplimiento.

Entre los desechos recuperables no peligrosos (Según caracterización realizada por INTEVEP e Hidrolab Toro Consultores C.A. en abril de 2009)provenientes de la Refinería El Palito (REP), están los finos de catalizador

gastado de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado, que son objeto de estudio de la presente investigación, perfilándose su uso en la incorporación del proceso productivo del sector alfarero, al ser utilizado como parte de la materia prima.

De acuerdo con dos (2) inventarios de desechos de la Refinería El Palito (REP), contenidos en los documentos emitidos por la Gerencia de Seguridad Higiene y Ambiente, y titulados “Situación Almacenamiento de Desechos” (2004) ⁽³⁾, y “Situación Almacenamiento de Desechos” (2005) ⁽⁴⁾, respectivamente, se registran aproximadamente una totalidad de 500 toneladas de catalizador gastado de FCC (833 m³, asumiendo una densidad de 0,6 g/cm³) que se han tenido almacenadas, en su gran mayoría, en espacios autorizados y debidamente adecuados como lo son los Galpones de Almacenamiento y en el Área de Acondicionamiento de Materiales y Desechos Industriales, estando contentivos en 4.167 tambores metálicos (asumiendo que cada tambor puede contener 0,12 toneladas).

De la cifra enunciada anteriormente, de acuerdo con la Gerencia de Ambiente de Refinería El Palito, han sido dispuestos aproximadamente 13,20 toneladas (22 m³) de catalizador gastado de FCC en el presente año 2012 por la empresa Invecem, a través de co-procesamiento térmico, esto indica que aun se encuentran almacenados, una cantidad de 486,8 toneladas (811 m³) catalizador gastado de FCC, almacenado en 4.057 tambores metálicos.

Adicional a lo anterior, es de referir que la tasa de generación anual que actualmente se maneja en la refinería es de 250 m³ de catalizador gastado de FCC (20,83 m³ mensuales), lo que indica que en inventario se tiene lo almacenado en las áreas autorizadas, mas lo generado mensualmente como corrientes de desecho, cuya cifra se va aumentando de forma progresiva.

Esta generación progresiva de desechos, ha traído consigo que se habiliten otros espacios improvisados para el almacenamiento temporal de estos finos de catalizador gastado de FCC dentro de la refinería, pudiendo estar almacenados en tambores metálicos, o bien, estar almacenados a granel sin protección, siendo susceptibles a acciones de vandalismo y desvalijamiento, dado las condiciones de la intemperie, muchos de los tambores contentivos de desechos se encuentran seriamente deteriorados con estado avanzado de corrosión y en algunos casos los desechos se encuentran dispersos directamente sobre el suelo, e incluso, muchos de ellos, no están debidamente identificados, de manera que se desconoce el producto que contienen, su peligrosidad y fecha de envasado.

El Plan de Adecuación de Desechos de la Refinería El Palito presentado el 4 de marzo de 2010, presentado ante el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, según el artículo N° 129 del Decreto N° 2.635 sobre “Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos”, sentó las bases que rigen el mejoramiento del manejo de los residuos de la REP, con miras a la aplicación de técnicas de minimización, reuso, reciclaje y recuperación, donde se contempla la cuantificación, muestreo y caracterización de los residuos industriales, revisión de las prácticas operativas, la identificación y la selección de técnicas de manejo de desechos.

De acuerdo con la señalada adecuación ambiental exigida por la normativa venezolana, a la que debe someterse PDVSA, puede referirse que la recuperación de los desechos que posean características y propiedades útiles, pudiese estar sujeta al aprovechamiento de los mismos para otros fines industriales, considerándose como un alternativa viable.

PDVSA-Refinería El Palito, considerándola necesidad de la gestión de los desechos sólidos, se rige por su normativa interna conocida como Procedimiento RFEP-ISHA-004 “Manejo y Disposición de Desechos”, en donde establece la línea de responsabilidades de los generadores, manejadores, custodios y las gerencias encargadas del manejo de los desechos.

En cuanto a la disposición de los desechos industriales, con potencial recuperable, como es el caso de los finos de

catalizador de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC), sucede que su colocación en el mercado de la industria alfarera, es considerada una alternativa viable por el investigador, luego de haberse revisado algunas investigaciones, propuestas y documentos previos, por cuanto a través de su caracterización, análisis de las características físico químicas de laboratorio y pruebas industriales de aprovechamiento, puede determinarse la cantidad y porcentaje de material de catalizador gastado (Cuya composición es básicamente alúmina y sílice) que puede ser aprovechado como materia prima para la elaboración de productos alfareros, al evaluarse la proporción de mezclas que podría realizarse entre la materia prima usada en la alfarería artesanal e industrial y los finos de catalizador gastado.

De acuerdo con un informe emitido por Alejandro Ramos ⁽⁵⁾, en el año 2004, los finos de catalizador de FCC, son materiales no peligrosos, según su caracterización, y a razón de tal condición, son manejados ante el Decreto N° 2.216 sobre “Normas para el Manejo de los Desechos Sólidos de Origen Doméstico, Comercial, Industrial o de cualquier otra naturaleza que no sean peligrosos” ⁽⁶⁾.

Retomando lo anterior, por razones de mejor disposición de los finos de catalizador gastado de FCC, este desecho es manejado, siguiendo las directrices del Decreto N° 2.635, por ser una normativa mas precisa y de mayor resguardo ambiental en ésta materia, además de ser la herramienta legal que establece las directrices en términos de peligrosidad para los materiales y desechos industriales.

Para asegurar el previo almacenamiento adecuado con visión de reuso y aprovechamiento en otro proceso industrial fuera de la refinería, debe de todas maneras, almacenarse bajo los criterios del Decreto 2.635, con fines de manejarlos en forma segura e impedir su contacto con otra sustancia o desecho peligroso, o de generar un riesgo potencial al entorno natural, dado su composición aerodinámica de sus partículas.

Según el Procedimiento de Manejo de Desechos de la Refinería El Palito REP-SHA-004 “Manejo y Disposición de Desechos”, el almacenamiento de materiales recuperables se rige por el siguiente procedimiento:

- Pintado de los tambores con pintura anticorrosiva, reforzando el fondo, parte superior y tapa. Para alargar su período de vida, el desecho debe ser previamente envasado en bolsas plásticas hasta 85% de su capacidad.
- Cerrado del tambor con aro metálico y tapa a presión.
- Identificación del tambor con información sobre nombre del desecho, proceso de origen y fecha de envasado.
- Colocación de tambores sobre paletas de madera hasta un máximo de dos niveles, según los requerimientos del espacio, en grupos de cuatro y debidamente flejados.
- Parcelamiento del área de almacenamiento de desechos de acuerdo con características de incompatibilidad que pueden ser revisadas en el Anexo E del Decreto N° 2.635.

A continuación en el Gráfico N° 2, puede verse de forma resumida lo expuesto anteriormente sobre las disposiciones del manejo de desechos industriales en refinería El Palito.

Gráfico N° 2. Envasado e identificación de desechos industriales en las instalaciones de Refinería El Palito.

Fuente: Superintendencia de Ambiente e Higiene Ocupacional (2009).

Tales disposiciones señaladas anteriormente, aplican a los desechos industriales originados en la REP, como es el caso de los finos de catalizador gastado de FCC, como una política ambiental de manejo de los mismos.

Los desechos industriales con potencial recuperable, conservan propiedades que se pueden aprovechar y que son compatibles con la materia prima utilizada en el sector alfarero, y evitando así, ser dispuestos en forma inadecuada. Sin embargo dada la naturaleza física del desecho, al ser un polvo muy fino y poseer la capacidad de trasladarse

fácil y libremente en el aire, exige una adecuada manipulación del mismo haciendo uso de protección respiratoria para disminuir la exposición al posible riesgo por inhalación a sus partículas.

El producto elaborado en empresas alfareras, al reusarse los finos de catalizador gastado, no revestiría características de peligrosidad en términos físico-químicos, gracias a los previos estudios de laboratorio realizados por INTEVEP (Instituto Tecnológico Venezolano del Petróleo) e Hidrolab Toro Consultores, y dado a que sus elementos constituyentes (Material particulado) quedarían inmersos en la matriz del producto sin posibilidad alguna de dispersarse o desprenderse.

La razón de generación de éstos desechos de alúmina gastada (Finos de catalizador de FCC) es fluctuante ⁽⁷⁾, sin embargo, el valor promedio se corresponde con aproximadamente 3, 5 toneladas al día, según los últimos reportes generados en el año 2011 por la empresa Honeywell UOP (Universal Oil Products) y que se mantienen para el año 2012 (Lado Regenerador, que se escapan por la Chimenea B-6102), (Ver gráfico N° 3), según la Gerencia de Operaciones de Refinería El Palito.

Grafico N° 3. Pérdidas promedio de catalizador gastado de FCC

Fuente: Gerencia de Operaciones de Refinería El Palito (2012).

Partiendo de lo anterior, es importante saber que según la consultora Ambioconsult C.A. ⁽⁸⁾, la cantidad estimada según caracterización de emisiones para el año 1995, motivado a la necesidades de adecuar las tasas de emisión a futuro y ajustarse a la normativa ambiental, fue de 329 mg/m³ de material particulado, acuerdo con un flujo de gas de 246.200, 65m³/h, excediendo el límite permisible por el derogado Decreto a la fecha N° 2.225 y el vigente Decreto N° 638 relativo a emisiones atmosféricas; siendo el límite permisible de 50mg/m³ de material particulado para unidades de regeneración de craqueo de refinerías de petróleo.

Recuperando el contenido de sílice y alúmina aprovechable de estos desechos residuales de la REP (Que según su Hoja de Seguridad especificada en el Anexo C, es de un máximo de 25 % para cada componente respectivamente), según Gómez, L ⁽⁹⁾, se reduce el inventario de desechos, pues se desalojan parcialmente espacios en los patios de almacenamiento, por tanto se solventan los problemas de ubicación y espacio; además de controlarse posibles daños ambientales, ocasionados por la dispersión de los desechos que permiten la contaminación del aire por partículas en suspensión, arrastre y lavado por la lluvia y contaminando el suelo.

Es de considerar que en el momento de evaluar el reciclaje de los materiales recuperables peligrosos y no peligrosos, PDVSA como organización ajustada a derecho, debe contactar a las empresas visualizadas en su recuperación y evaluar si las mismas poseen los permisos ambientales requeridos como el RASDA o Registro de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente, y que se ajusten a una política de seguridad, higiene y ambiente que garantice un manejo adecuado de los materiales recuperables.

Además delo citado en el párrafo anterior y retomando las consideraciones de la fuente citada, debe estudiarse en conjunto con las empresas interesadas, la factibilidad técnica y económica de recuperación de los distintos materiales, además de su análisis comparativo.

En el caso de la valoración económica debe tenerse en cuenta las distancias y costos de transporte y disposición de los desechos recuperables en las empresas recuperadoras respectivas; sin embargo este ámbito por demandar de una cantidad considerable de tiempo, no resulta de interés inmediato dentro de la presente investigación.

Según el Decreto N° 2.635, se entiende por “reuso”, al empleo de materiales recuperados en otro ciclo de producción diferente al que les ha dado origen. Por tanto, se afirma que el reuso es una forma de recuperación de los desechos, y atendiendo a esto, se plantean las siguientes interrogantes:

¿De qué manera pueden ser reusados los finos de catalizador gastado de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) de la Refinería El Palito?

¿Representa el sector alfarero, bien sea a escala artesanal o industrial, una alternativa de aprovechamiento de estos desechos?

¿Poseen las empresas alfareras la permisología correspondiente que exige la autoridad ambiental nacional, para recuperar desechos industriales?

¿Representan estos desechos recuperados, un riesgo considerable a la salud y al ambiente, cuando son utilizados en la obtención de productos industriales elaborados?

¿Cuál es el inventario actual de finos de catalizador gastado de FCC?

¿Qué porcentaje del inventario actual de finos de catalizador gastado de FCC, se disminuiría con la presente propuesta de aprovechamiento?

¿Es viable su uso y aprovechamiento en las empresas del sector alfarero?

Objetivos

Objetivo general

- Estudiar el reuso de los finos de catalizador gastado de FCC de la Refinería El Palito, como una alternativa para su aprovechamiento en el sector alfarero y un mecanismo para la minimización de riesgos ambientales.

Objetivos específicos

- Describir el proceso productivo de la unidad de planta de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) de la Refinería El Palito, que se constituye como una fuente generadora de desechos no peligrosos recuperables.
- Describir las generalidades y características asociadas a los finos de catalizador gastado de FCC como un desecho no peligroso, de alta tasa de generación dentro de la REP y con potencial recuperable.
- Diagnosticar la situación de operatividad del precipitador electrostático (PE) como dispositivo de recolección de partículas de finos de catalizador gastado de FCC.
- Determinar la factibilidad de reuso del catalizador gastado de FCC, mediante caracterización de peligrosidad como requisito indispensable y requerido por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente para aprovechamiento de desechos, así como en pruebas y ensayos industriales realizados en empresas alfareras.
- Identificar el reuso y aprovechamiento de los finos de catalizador gastado de FCC como una opción que dentro de la política de manejo de desechos en Refinería El Palito, permita minimizar los riesgos ambientales asociados.

Contexto de acción

La propuesta de investigación se centra en el reuso y aprovechamiento de un desecho industrial de refinación petrolera (Finos de catalizador gastado de FCC) en otro sector productivo como la industria alfarera, dentro del área de influencia de la refinería e inmersa dentro del Distrito Social El Palito.

El posible aprovechamiento de los finos de catalizador gastado de FCC, sólo tendría aplicabilidad, en aquellas empresas que se ajusten a la normativa ambiental venezolana y posean RASDA (Registro de Actividades

Susceptibles de Degradar el Ambiente), como condición requerida por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, para la debida gestión de reutilización de desechos industriales; además bajo acuerdos de debida disposición de los mismos.

Han sido visualizadas en experiencias anteriores algunas opciones de recuperación de los finos de catalizador gastado de FCC y la opción dentro del sector alfarero se perfila como una posibilidad que merece ser considerada.

La presente investigación, por su trascendencia, está ligada a determinar las posibilidades de aprovechamiento de éstos desechos, que aseguren ser utilizados en una proporción considerablemente óptima dentro de la industria alfarera del Distrito Social El Palito.

Dentro de este contexto, se entiende como Distrito Social El Palito (Ver Anexo A), a una unidad de gestión territorial de carácter productivo, ecológico y social, que integra funciones de ingeniería, desarrollo y ejecución de proyectos, con el propósito de consolidar estrategias que dentro del proceso de refinación petrolera, propicien un esfuerzo conjunto, eficiente y efectivo del personal de PDVSA y de la población, para garantizar el desarrollo endógeno sostenible y sustentable, generando equilibrios necesarios para la erradicación de la pobreza, la exclusión social y mejorar los niveles de salud y educación de la población, como una condición requerida por el Gobierno Bolivariano de Venezuela, a través del Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo; según la Gerencia de Desarrollo Social de Refinería El Palito.

Ahora bien, con la propuesta de reuso de los finos de catalizador gastado de FCC, basta realizar contactos con empresas interesadas en incorporar éstos desechos no peligrosos dentro de sus procesos productivos como sustitutos de parte de las materia primas originales (Arcilla y otros varios elementos térreos), para luego iniciar los respectivos análisis de laboratorio y pruebas industriales, que serán realizados por las empresas contactadas, a fin de determinar la factibilidad de su aprovechamiento.

La factibilidad de aprovechamiento de los finos de catalizador gastado de FCC en empresas alfareras, debe considerar criterios como determinación de grado de compatibilidad de materiales recuperables con materias primas usadas en el sector alfarero, grado de afectación de calidad de productos elaborados, exigencias de calidad de empresas, proporción de material recuperable y determinación ponderada de posibles mezclas del desecho con materias primas.

La investigación que se pretende desarrollar solo estudiará la factibilidad técnica de recuperación de los finos de catalizador de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) de la Refinería El Palito-PDVSA.

Es meritorio referir que no existe un registro concreto que sirva de guía para el apoyo de la investigación que se pretende desarrollar en cuanto a la factibilidad de aprovechamiento, exclusivamente en el sector alfarero, de aquellos desechos industriales con contenido de alúmina y sílice como los producidos en la Refinería El Palito de PDVSA (Otros estudios en diferentes sectores industriales han sido referidos en los antecedentes de la investigación),

Sólo existen estudios y pruebas de laboratorio sobre la factibilidad de reuso de éstos desechos industriales dentro de otros procesos, como es el caso de su aprovechamiento dentro de la industria ceramista, cementera, fabricación de pinturas, industria del aluminio, uso en mantos asfálticos y uso como agregado liviano.

Aún cuando PDVSA pone a disposición todo su recurso humano y económico para el desarrollo de la presente investigación, surgen trabas ajenas a la Refinería El Palito, siendo esta, el grado de interés de las industrias o empresas alfareras interesadas en la recuperación de sus desechos y el cumplimiento de ellas con los requerimientos y permisología demandados por la autoridad ambiental nacional.

Pertinencia

La presente investigación está alineada a las directrices que la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela ⁽¹⁰⁾, asigna a cada ciudadano de proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí mismo y del mundo futuro (Artículo N° 127, Capítulo IX "De los Derechos Ambientales", como un derecho y un deber consagrado que el Estado Venezolano a través de sus órganos jurisdiccionales sabrá canalizar.

Siguiendo lo anterior, la Ley Orgánica del Ambiente ⁽¹¹⁾, en su Capítulo V, "De la Prohibición o Corrección de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente", Art. N° 19, refiere que se consideran actividades susceptibles de degradar el ambiente, a aquellas actividades que propenden a la acumulación de residuos, basuras, desechos y desperdicios, por ello es pertinente la debida gestión de manera ambientalmente segura de los desechos industriales provenientes de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado FCC de la Refinería El Palito.

Igualmente la Ley Sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos ⁽¹²⁾, establece las normas para el uso, manejo, transporte y almacenamiento y la disposición final de las sustancias y desechos peligrosos que en ella se regulan, a fin de proteger el ambiente y la salud. Adicional a esto, la investigación se enmarca dentro del Decreto N° 2.216 sobre "Normas para el Manejo de los Desechos Sólidos de Origen Doméstico, Comercial, Industrial o de cualquier otra naturaleza que no sean peligrosos", dado que los finos de catalizador de FCC son considerados desechos industriales no peligrosos.

Asumiendo que los finos de catalizador gastado poseen la capacidad de esparcirse por el aire dado su fina granulometría, pudiesen generar afecciones a la salud de los trabajadores y la comunidad cercana al área de influencia de la REP, y es por este motivo que son manejados bajo las consideraciones establecidas en el Decreto N° 2.635, (Quien refiere los criterios para determinar la peligrosidad de desechos industriales) sobre "Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos".

Finalmente dentro de la organización donde se desarrollará el trabajo de investigación, es de suma relevancia la debida gestión en términos de disposición final de los finos de catalizador gastado de FCC, ya que forma parte de su Plan de Manejo de Desechos, alineado con la política ambiental de disposición de desechos industriales.

De acuerdo con lo anterior, para PDVSA es prioritario disponer los finos de catalizador gastado de FCC y de esta manera reducir el inventario de materiales y desechos, dando cumplimiento a la normativa ambiental, siguiendo sus lineamientos internos y asegurando la protección del ambiente y la salud de sus trabajadores, a la vez que con la presente propuesta se canaliza la recuperación del desecho dentro de otro proceso industrial diferente al de su génesis.

En relación a la Universidad Bolivariana de Venezuela (UBV), este proyecto de investigación está alineado a sus necesidades de formación integral de profesionales de acuerdo con el modelo de investigación-acción que según la propuesta del psicólogo social Lewin (1946) ⁽¹³⁾, quien indicó por primera vez este término, asumiendo que este tipo de investigación inicia el cuestionamiento del fenómeno desde lo habitual, transitando sistemáticamente, hasta lo filosófico, pretendiendo tratar de forma simultánea conocimientos y cambios sociales, de manera que se unan la teoría y la práctica.

Considerando lo anterior de acuerdo con el modelo de investigación-acción, Espinoza (2008) ⁽¹⁴⁾, describe en su investigación sobre la transformación de la realidad, que la investigación-acción, se centra en la ciencia social (Sociología) con programas de acción social donde los implicados se convierten en los protagonistas del proceso de construcción del conocimiento e intervención sobre la realidad.

Según el referido modelo de investigación, el presente estudio, engloba generalidades sobre la defensa y mejoramiento del ambiente, visualizando las mejores prácticas operativas para la disminución del impacto en el

ambiente, de los procesos de la industria petrolera, además centrados en la premisa de contribuir con el desarrollo integral del ciudadano, que asuma actitudes y aptitudes a favor de la naturaleza.

Para el investigador, éste proyecto de investigación se consolida como una propuesta innovadora desde el punto de vista de la metodología, dado el esquema propuesto de acercamiento a la investigación-acción-participación y la vez que el documento refiere un alternativa de recuperación de un desecho industrial, considerándolo un iniciativa favorable para el ambiente.

La importancia del reuso de los finos de catalizador gastado de FCC para el momento histórico que vivimos, donde el gobierno bolivariano de acuerdo con su “Plan Siembra Petrolera”, ha impulsado la ampliación del circuito de refinación petrolera, serviría de experiencia dentro de PDVSA para tomar estas experiencias y llevarlas hacia las de más áreas operativas, como una alternativa viable en el manejo de los desechos industriales.

Se tiene conocimiento que dentro del circuito de refinación nacional, la experiencia en el manejo de los finos de catalizador de FCC se centra en su disposición final, por lo cual, la presente investigación resalta en importancia dado que con la búsqueda de una solución oportuna de reuso del desecho, se constituyese en una mejor practica operativa para PDVSA.

Capítulo II: Contexto conceptual

Antecedentes

Han sido varias las opciones de disposición y aprovechamiento de los finos de catalizador gastado de FCC en diversos sectores económicos, resumiéndose como se expresa en los antecedentes a continuación.

Desde el año 1991, de acuerdo con un memorando emitido por la Superintendencia de Asuntos Ambientales de CORPOVEN ⁽¹⁵⁾, se determinó la conveniencia de utilizar el catalizador gastado de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado como materia prima para la fabricación de cemento, constituyéndose en una solución de reciclaje y minimización de desechos producidos por Petróleos de Venezuela.

El interés por la recuperación de los desechos industriales producidos por PDVSA, continuaba evidenciándose, y es en el año 1996 cuando la empresa petrolera CORPOVEN propone a la Vicepresidencia de Ambiente y Tecnología de la Corporación Venezolana de Guayana (CVG), realizar pruebas de factibilidad ala alúmina gastada de la Unidad de Alquilación, para extraer fluoruro de aluminio. La propuesta se hizo extensiva y sustentaba el hecho de establecer un convenio donde se pudiesen incrementar significativamente las cantidades de alúmina con los aportes de las refinerías de Puerto La Cruz, Amuay y Cardón, en caso de resultar positivos los resultados.

En el año 1996, la empresa Corporación y Desarrollos Industriales 1814 C.A., desarrolló un estudio para CORPOVEN S.A., titulado “Estudio de factibilidad técnica para la recuperación de metales de desechos de Refinería El Palito” ⁽¹⁶⁾, con la finalidad de estudiar la viabilidad técnica y económica de recuperación de metales del desecho FCC de la refinería El Palito, considerándosela oportunidad de recuperar el contenido de vanadio y níquel (Siendo estos metales pesados), asumiendo que se encuentran en pequeñas trazas y considerando que manejando grandes volúmenes de catalizador, pudiesen recuperarse cantidades significativas del mismo.

Según la investigación, los resultados indicaron que los productos obtenidos requieren de una optimización en el procesamiento para lograr una calidad adecuada de contenidos altos en alúmina (Mayores de 98%), altas recuperaciones y rendimientos metalúrgicos mejorados. El proceso representa algunos inconvenientes técnicos importantes debido a que toda la sílice se encuentra activa formando caolinitas y zeolitas, tendiendo a lixivarse con el hidróxido de sodio y la precipitación selectiva durante el enfriamiento debe ser muy controlada a diferencia del proceso BAYER.

En función de lo anterior, es importante referir que el proceso BAYER es el principal método industrial para producir alúmina a partir de bauxita, siendo patentado por el austriaco Karl Bayer en 1889 y basado en la disolución de la bauxita con hidróxido sódico, que según Salazar ⁽¹⁷⁾, involucra alta presión y temperatura, aplicado a las bauxitas en donde el mayor aporte de la sílice no es reactivo, generando altos flujos de arenas pero muy bajo contenido en sílice no disuelta.

Se determinó que la inversión requerida así como los costos operativos resultaban muy elevados para las cantidades de desecho a tratar. Entonces, tales circunstancias y resultados a pesar de arrojar óptimos indicios técnicos de mejorar la extracción metálica de la alúmina, pero de bajo perfil desde el punto de vista económico, hicieron tomar la alternativa de utilizar tal desecho en otros posibles reusos.

En una nota técnica de PDVSA que data del año 1998, titulada “Evaluación de opciones de disposición del catalizador de FCC y alúmina gastada de Alquilarción” ⁽¹⁸⁾, se presenta una evaluación sobre la disposición del catalizador de FCC en función de aspectos como relación costo-beneficio, mejor práctica ambiental y riesgo asociado. Tomando en consideración estos aspectos y comparándose varias propuestas para la disposición del desecho de FCC como aprovechamiento en cementeras, disposición en rellenos de seguridad y uso en la industria cerámica. Se concluyó que ésta última opción sería la más importante donde el aspecto económico se constituye como el factor clave, porque al menos no se requeriría erogar en el largo plazo, además el riesgo ambiental asociado es bajo y en cuanto al aspecto de mejor práctica ambiental se señaló que el desecho sería reusado en otro proceso diferente al original.

Hidrolab Toro Consultores C.A., realizó un reporte de análisis de laboratorio a PDVSA en el año 2004, sobre la Caracterización de Finos de Catalizador Unidad FCC de Refinería El Palito ⁽¹⁹⁾, obteniendo como resultado que el desecho en estudio no reviste características de peligrosidad.

Con respecto a los análisis de metales efectuados a la muestra real por Hidrolab Toro Consultores C.A., todos los parámetros evaluados presentaron valores inferiores a los señalados en el artículo 5 del Anexo C del Decreto N° 2.635, por lo tanto se considera no peligroso en su contenido de metales. En relación a los análisis de metales efectuados en lixiviados, se observó valores inferiores a los reglamentados en el Anexo D del mismo decreto, por lo que se considera no tóxico para fines de disposición.

De acuerdo con la Gerencia de Ambiente, en el mismo año 2004, se realizó para la Refinería El Palito un “Plan de Trabajo para evaluar la factibilidad de reuso de materiales recuperables”, siguiendo los lineamientos del Plan de Adecuación Ambiental que sustenta el Decreto N° 2.635. Se afirma que existe en la refinería un alto inventario de tambores con desechos y materiales recuperables que tienen saturados todas las áreas de almacenamiento disponibles, algunos de ellos almacenados desde hace más de una década.

En función de lo anterior, es importante referir que en el pasado se ha venido trabajando en gestiones referentes al manejo integral de los desechos, tal como a continuación se refiere:

- Manejo Integral de Desechos. Caura (1990) ⁽²⁰⁾. Donde se describen los lineamientos generales para la gestión adecuada de los mismos e indica que el catalizador de FCC es un desecho recuperable que merece ser aprovechado, antes de considerarse ser dispuesto sin aprovechamiento alguno.
- Ingeniería de Detalle GDM e infraestructura básica (Clausura del relleno zona sur, construcción de galpones de desechos y saneamiento de áreas Q y de Chatarra. (1991-1993) ⁽²¹⁾. Este documento sugiere la necesidad de mejores y más eficientes espacios para la disposición de desechos industriales, como el caso de los finos de catalizador gastado de FCC, asumiendo que su tasa de generación es significativa como para adecuarse en políticas de recuperación del mismo mediante procesos ambientales que permitan el reuso de estos desechos.
- Pruebas de reuso/reciclaje de catalizador de FCC (Pellas laterita ferruginosa y manejo de finos en industria

cementera y calcinación, además de su mezcla en la industria cerámica).(1993-1998)⁽²²⁾. Esta investigación demuestra el potencial recuperable de estos desechos en sectores productivos como la industria cementera y cerámica, donde el requerimiento del componente básico de materia prima para dichos sectores industriales, es semejante al requerido en el sector alfarero, en el sentido de contenido de sílice, alúmina y componentes térreos.

- Pruebas de reuso/reciclaje de alúmina de Alquilación en celdas electrolíticas para procesar aluminio ⁽²³⁾, donde se evidencia la viabilidad del reuso de la alúmina como componente básico para el procesamiento del aluminio y constituyéndose esto en evidencia de la potencialidad de recuperación del contenido de alúmina gastada contenida en la matriz de los finos de catalizador gastado de FCC en sectores industriales.
- Factibilidad Técnica Manejo de Desechos Refinería (REP/INTEVEP/RUST), (1997-1998), donde el catalizador de FCC es considerado como un desecho aprovechable que merece ser considerado para su reuso en sectores industriales diferentes al de la actividad petrolera⁽²⁴⁾. Siendo esto relevante para la presente investigación en el sentido de sentar las bases sobre las potencialidades de este desecho, donde su composición físico-química (Contenido de sílice y alúmina, principalmente) le otorga características que permiten el aprovechamiento en sectores industriales diversos, como es el caso del sector alfarero.
- Incorporación de desechos aluminicos (Catalizadores) provenientes de refinerías del país en la fabricación de pellas lateríticas para uso en plantas de cemento. Escuela de Metalurgia y Ciencia de los Materiales de la Universidad Central de Venezuela⁽²⁵⁾. Esta investigación resalta la importancia de los catalizadores con contenido de alúmina, como componente básico aprovechable dentro de sectores industriales diferentes al de su génesis.
- Pruebas de factibilidad de reuso de finos de catalizador de la unidad de craqueo catalítico fluidizado (FCC) de la Refinería El Palito-Estado Carabobo ⁽²⁶⁾, donde se resume que el contenido de alúmina refractaria presente en los finos de FCC, constituye una evidencia de su recuperación. Sin embargo en las pruebas de factibilidad, los contaminantes presentes en la muestra, demostraron que éstos, afectan la calidad de los productos elaborados, considerándose que no pueden ser aprovechados.
- Aplicaciones del catalizador de craqueo catalítico usado (FCC) en la preparación de conglomerantes hidráulicos ⁽²⁷⁾. Estudio de sus propiedades puzolánicas, donde se refiere que la caracterización del desecho indica ser un silicoaluminato con estructura principalmente amorfa, además con un cierto contenido cristalino que posee una gran superficie específica, haciéndose necesaria la activación del material por métodos mecánicos (molienda) para que actúe como material puzolánico. Se demostró que aunque los finos de catalizador de FCC contienen elementos minoritarios que pudieran tener un impacto medioambiental perjudicial (Metales pesados y lantánidos), éstos quedan fijados por la matriz conglomerante, resultando ser un material adecuado para la construcción.
- Aprovechamiento del catalizador usado de FCC de Refinerías de la Universitat Jaume I de Castelló ⁽²⁸⁾, donde de acuerdo con las características de este residuo industrial inerte (Distribución granulométrica, superficie específica elevada y relación Si/Al en su composición), se ha estudiado la posibilidad de: a) utilizarlo como materia prima, sustituyendo al caolín en la fabricación de fritas cerámicas; b) emplearlo como materia prima, sustituyendo al caolín que se adiciona a las suspensiones acuosas de esmaltes cerámicos para mantener la estabilidad de las mismas o sustituyendo al Si y Al, en la formulación de los esmaltes; c) como material de partida para la obtención de zeolita 4A.

Descripción del proceso productivo

Asumiendo que la investigación se vincula con un desecho industrial con potencial recuperable, generado en la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado FCC de la Refinería El Palito, es necesario indicar que PDVSA-Refinería El Palito se encuentra ubicada en la costa norte de Venezuela, específicamente en el sector Punta Chávez, en las cercanías de la población de El Palito, Carretera Nacional Puerto Cabello- Morón, Municipio Juan José Flores de Puerto Cabello, Estado Carabobo (Ver Gráfico N° 4), ocupando una amplia extensión costera, dentro de la cuenca de los ríos Sanchón y Aguas Calientes.

Gráfico N° 4.- Vista de planta de Refinería El Palito

Fuente: Sistema Satelital Internacional Google Earth. Vista de Planta de la Refinería El Palito. (2012).

Según la Superintendencia de Programación y Economía en 2012, la Refinería El Palito entrega los productos requeridos por la Región Central a través de un sistema de bombas y poliductos que cubre una extensión de más de 200 Km., dando suministro a diez (10) estados de la geografía nacional, siendo estos: Aragua, Apure, Barinas, Carabobo, Cojedes, Falcón, Guárico, Portuguesa, Lara y Yaracuy, con una capacidad diaria de producción de 140.000 Barriles por día (BPD).

El proceso productivo de Refinería El Palito, según la Superintendencia de Ingeniería de Procesos en 2012, está integrada por las siguientes unidades productivas:

- **Reformación Catalítica de Nafta:** El proceso de esta Unidad permite mejorar el octanaje de las naftas y obtener mezclas de aromáticos de alta calidad para ser usados como materia prima en los procesos petroquímicos (BTX).
- **Destilación Atmosférica:** Su objetivo es fraccionar el petróleo crudo proveniente de los campos de producción en diversas corrientes que serán alimentadas a otros sistemas aguas abajo mediante el proceso de destilación simple.
- **Destilación al Vacío:** Obtiene productos de valor agregado (gasóleos) al destilar las fracciones más pesadas del crudo de petróleo a presiones más bajas. La alimentación es el producto de fondo (crudo reducido) de la unidad de Destilación Atmosférica.
- **Desintegración catalítica:** La Unidad de Fraccionamiento de Craqueo Catalítico (FCC) transforma gasóleos pesados en productos de mayor valor comercial como: gas combustible, gasolina de exportación, gasolina para el mercado interno, diesel y olefinas para las unidades de Alquilación y Oxigenados.
- **Solventes Industriales:** Produce solventes aromáticos de uso industrial para satisfacer el mercado local: pinturas, lacas, tintas, insecticidas, resinas y esmaltes.
- **Complejo BTX:** Produce Benceno, Tolueno y ortoxileno de alta pureza, a partir de una corriente de nafta reformada proveniente de la Unidad PTR.
- **Alquilación:** Su objetivo es producir un combustible de alto octanaje, denominado alquilato, a partir de la reacción de Olefinas desde FCC en presencia de un catalizador de la reacción. Este puede ser: ácido fluorhídrico (HF) o ácido Sulfúrico (H₂SO₄).
- **Oxigenados:** Su objetivo es producir un componente oxigenado de alto octanaje, para la formulación de gasolinas de exportación, denominados metil-terbutil-éter (MTBE) y Ter-amil-metil-éter (TAME), a partir de la reacción de isolefinas provenientes de FCC y metanol, a través de un catalizador sólido.

La estructura organizativa de las unidades de producción en Refinería El Palito, puede verse en el Gráfico N° 5, mostrado a continuación.

Gráfico N° 5: Unidades de Producción en Refinería El Palito

Fuente: Superintendencia de Programación y Economía. REP (2012).

Una vez referenciado el ciclo productivo de Refinería El Palito y considerando que los finos de Catalizador de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) de la Refinería El Palito de PDVSA, poseen un elevado contenido de alúmina en su composición y son prevenientes del desgaste continuo que sufre el propio catalizador de dicha unidad de proceso de refinación, se hace necesario, a manera de entender el sentido de la presente investigación, dar una descripción en forma detallada de la unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC).

Dicha unidad es la fuente generadora del desecho no peligroso que estudia la presente investigación, con la cual se

busca, ubicar una alternativa de recuperación o reuso, perfilándose su disposición dentro del sector alfarero, debido a la presencia de materiales (Alúmina) que pueden servir de materia prima en la mezcla con arcilla y demás componentes, al poseer características físico-químicas que pudiesen servir para la mixtura con los materiales usados en la alfarería.

Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC)

La Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado de la Refinería El Palito, está diseñada para procesar una corriente de alimentación de 54.000 BPD (Barriles por día) y 82 % de conversión, según el Manual de Refinación⁽²⁹⁾. Sin embargo con la Parada de Planta Programada realizada en el mismo año 2009, se elevó la capacidad de producción a 70 .000 BPD.

De acuerdo con la fuente anterior, las diferentes secciones por las cuales está conformada la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado en la REP son: Sistema de precalentamiento de la carga; Sistema de Reacción (Ver Gráfico N° 6), Despojamiento y Regeneración, Sistema de Fraccionamiento (Ver gráficos N° 7/8/9) y Sistema de Concentración de Gases.

Gráfico N° 6. Unidad de FCC-Sistema Reactor Regenerador

Fuente: Ingeniería de Procesos (2009) de Refinería El Palito.

Gráfico N° 7. Unidad de FCC-Sección de Fraccionamiento Principal (a)

Fuente: Ingeniería de Procesos (2009) de Refinería El Palito.

Gráfico N° 8. Unidad de FCC-Sección de Fraccionamiento Principal (b)

Fuente: Ingeniería de Procesos (2009) de Refinería El Palito.

Gráfico N° 9. Unidad de FCC-Sección de Fraccionamiento y secado de olefinas.

Fuente: Ingeniería de Procesos (2009) de Refinería El Palito

El craqueo catalítico fluidizado (FCC), de acuerdo con el Manual de Refinación, es un proceso en el que los productos excedentes (Gasóleos combinados) obtenidos por medio de los procesos primarios de destilación (Atmosférica y Vacío), son convertidos en productos de mayor valor comercial: gasolinas y olefinas C3/C4/C5 para las unidades de Alquilarción y Oxigenados. (Ver Gráfico N° 10). El proceso consiste en la desintegración de las moléculas de gasóleo en presencia de un catalizador sólido en forma de partículas esféricas, el cual se comporta como un fluido cuando se airea con vapor, es por ésta razón que deriva su nombre de craqueo catalítico fluidizado.

Gráfico N° 10. Suministros y secuencia operacional de planta de FCC

Fuente: Manual de Refinación. Ingeniería de Procesos (2009).

Características de las reacciones

Según el mencionado Manual de Refinación, las características de las reacciones originadas en el proceso de FCC, son las siguientes:

- Las reacciones tienen lugar en centros activos del catalizador.

- Fase vapor, lo cual facilita la migración de reactantes hacia los centros activos.
- Mecanismos de reacción complejos, involucra etapas de difusión, adsorción, desorción y la reacción química, en la superficie del catalizador.
- Reacción química vía Iones Carbonio CH_3^+ .
- Velocidad de Craqueo: Olefinas > Isoparafinas > Parafinas > Aromáticos.
- Utilización de catalizador sílica-alúmina de elevada área superficial: 200 - 600 m^2/gr . Catalizador tipo Zeolita con elevada porosidad.

En éste proceso, durante la reacción de craqueo se produce coque (Mezcla de carbono e hidrógeno), el cual se adhiere a la superficie del catalizador contaminándolo, perdiendo éste actividad; por lo tanto en el proceso de craqueo catalítico es necesario regenerar el catalizador, para esto se quema este coque formado y el catalizador puede ser utilizado nuevamente en la reacciones, aunque constantemente, para suplir las pérdidas por desgaste de catalizador, se añaden porciones considerables de catalizador nuevo.

El catalizador circula continuamente entre la zona de reacción (Reactor) y la zona de regeneración (Regenerador) actuando como vehículo para transferir el calor, desde el regenerador al gasóleo de carga en el reactor (Ver Gráfico N° 11). La velocidad de circulación del catalizador y la actividad del mismo regulan las reacciones de craqueo y los rendimientos de los productos.

Gráfico N° 11. Diagrama de flujo de la unidad de FCC

Fuente: Ingeniería de Procesos (2009) de Refinería ElPalito.

Química del proceso

De acuerdo con el Manual de Refinación, una serie de reacciones complejas tienen lugar cuando una molécula de gasóleo toma contacto con el catalizador de craqueo a una temperatura de 1200 °F. La distribución de productos depende de muchos factores incluyendo la naturaleza y la fuerza de los sitios ácidos, además la mayoría de las reacciones que ocurren dentro de este proceso son de craqueo catalítico, sin embargo también ocurren algunas reacciones de craqueo térmico.

Dentro de este contexto, se entiende por craqueo de hidrocarburos, a la ruptura de los enlaces carbono-carbono (C-C).

Las reacciones que ocurren en el craqueo catalítico pueden dividirse en dos tipos: reacciones primarias y reacciones secundarias. Las reacciones primarias involucran el corte de los enlaces C-C y la neutralización inmediata del carbocatión formado y las reacciones que siguen este patrón son las de craqueo y desalquilación. Las reacciones secundarias, por su parte, son la isomerización, reacciones de transferencia de hidrógeno, transalquilación, ciclización, deshidrogenación y condensación.

Las reacciones primarias son endotérmicas y predominan a niveles bajos o intermedios, en cambio, las reacciones secundarias son en general exotérmicas, siendo favorecidas a altos niveles de conversión. El calor de reacción global es menos endotérmico de lo esperado gracias a la contribución calórica de las reacciones secundarias.

Tipo de catalizador utilizado

El catalizador de la Unidad de FCC, según el Manual de Refinación, es el corazón del proceso, se fabrica en forma esférica y es suministrado a PDVSA por la empresa BASF, y cuando se desgasta a finos, se convierte en un polvo fino con un diámetro promedio de partícula en el rango de 5 a 20 micrones (μm). Un catalizador moderno de FCC tiene cuatro componentes principales: zeolita, matriz, aglomerante y soporte.

Zeolita: Las zeolitas presentes en los catalizadores de FCC son versiones sintéticas de las faujasitas, siendo el ingrediente principal con la finalidad de proveer el craqueo selectivo y gran parte de la actividad, considerando que el desempeño del catalizador depende en buena parte de la naturaleza y calidad de la zeolita presente en el catalizador.

Según Mora ⁽³⁰⁾, las zeolitas (Aluminosilicatos con alto orden estructural) tienen poros con dimensiones en el orden de los nanómetros (10^{-9} m), y de allí su clasificación como tamices moleculares, en donde la posibilidad de penetración de las moléculas de reactantes en estos catalizadores zeolíticos depende del diámetro de los poros. La zeolita puede definirse como un polímero inorgánico cristalino compuesto por redes de tetraedros formados por AlO_4 y SiO_4 unidos por un oxígeno compartido. Las principales zeolitas utilizadas en FCC son las faujasitas del tipo X, Y, pudiéndose ver en el Gráfico N° 12 sobre “Estructura de una zeolita faujasita” y ZSM-5, mostrada en el Gráfico N° 13. “Clasificación de algunas zeolitas”.

Las tierras raras, como componente de la estructura molecular del catalizador, sirven de puente para estabilizar los átomos de alúmina en la estructura de la zeolita. Con lo cual se evita que los átomos de alúmina salgan de la estructura de la zeolita cuando el catalizador es expuesto a altas temperaturas en presencia de vapor en el regenerador. El sodio disminuye la estabilidad hidrotérmica de la zeolita y además reacciona con los sitios ácidos de la zeolita reduciendo la actividad.

Gráfico N° 12. Estructura de una zeolita faujasita.

(b) Representación simplificada del cuboctaedro (a), en el que aparecen los átomos de oxígeno y los de aluminio o silicio. Esto cubos cuboctaedros unidos forman a la zeolita faujasita (c)

Fuente: Sánchez, E. (1994).

Gráfico N° 13 Clasificación de algunas zeolitas

Fuente: Sánchez, E. (1994).

Matriz: De acuerdo con el Manual de Refinación, la matriz ofrece al catalizador de FCC beneficios como los siguientes.

- Provee sitios accesibles para el craqueo de moléculas grandes de alto rango de ebullición.
- Es relativamente estable ante el ataque del vanadio y bajo condiciones de severidad hidrotérmica.
- No presenta limitaciones por difusión en el craqueo de moléculas de alto rango de ebullición.
- Los sitios ácidos de la matriz actúan como trampa de sacrificio para los compuestos básicos presentes en la carga, protegiendo a la zeolita.

Debido a su composición y estructura, las matrices no se desactivan por el Vanadio como lo hace la zeolita. Sin embargo, la matriz sirve al Níquel como soporte para dispersarse, lo cual incrementa su actividad deshidrogenante, con un impacto negativo en la producción de gas seco y coque.

La matriz provee una reducción en el rendimiento de fondos y mejora la resistencia a la contaminación por Vanadio.

Aglomerantes y soportes: De acuerdo con el Manual de Refinación, el aglomerante sirve como un pegamento para mantener a la zeolita, la matriz y el soporte unidos, además que puede o no tener actividad catalítica y su importancia se hace predominante con catalizadores que contienen altas concentraciones de zeolita.

El soporte es una arcilla incorporada al catalizador para diluir su actividad, generalmente se utiliza caolín.

Las funciones del aglomerante y el soporte son proveer resistencia física al catalizador (Densidad, resistencia a la fricción, distribución de tamaño de partícula, etc.), servir de medio de transferencia de calor y de fluidización, sobre los cuales se dispersa el componente más valioso: la zeolita.

Reacciones Desfavorables

De acuerdo con el Manual de Refinación, los catalizadores de Craqueo Catalítico Fluidizado son desactivados por el proceso de coquificación que ocurre durante la reacción de craqueo, por los efectos de la regeneración y los contaminantes de la carga (Azufre y metales pesados). La desactivación puede ser de manera temporal o permanente, dependiendo del tipo y causa del proceso de desactivación.

Materiales Recuperables

De acuerdo con Sema, P. (2001)⁽³¹⁾, los desechos pueden considerarse como materiales, sustancias, mezclas u objetos para los cuales no se prevé un destino inmediato, pero a su vez deben ser eliminados o ubicados de manera temporal en un lugar acorde con los requerimientos exigidos por el marco jurídico venezolano. El carácter peligroso de un desecho está en función de sus propiedades físicas y químicas, que le otorgan inutilidad de aprovechamiento y por tanto, no pueden ser reusados, reciclados o regenerados.

La disposición final de los desechos peligrosos y no peligrosos, según el “Inventario de desechos sólidos recuperables no peligrosos de la Refinería El Palito”⁽³²⁾, logra minimizar las posibilidades de migración en el ambiente, de los componentes que posee determinado desecho, en forma permanente y de conformidad con la legislación ambiental que rige los lineamientos de manejo de desechos en Venezuela.

Según Berger, B y Anderson, K⁽³³⁾, existen materiales que aunque revisten características de peligrosidad después de servir a un propósito específico, todavía conservan propiedades físicas y químicas útiles, y por lo tanto, pudiesen ser reusados, reciclados, regenerados o aprovechados con el mismo propósito u otro diferente.

El objetivo clave en la recuperación de los materiales peligrosos y no peligrosos, es la regulación del manejo de los mismos, generados en la industria, y muy específicamente, dentro de los procesos de refinación de PDVSA-Refinería El Palito, donde se pretende minimizar los impactos a la salud, al ambiente e instalaciones, siguiendo los lineamientos de las normas técnicas del Decreto N° 2.635 sobre “Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de desechos peligrosos” y el Decreto N° 2.216 sobre “Normas para el manejo de los desechos sólidos de origen doméstico, comercial, industrial, o de cualquier otra naturaleza que no sean peligrosos”.

Catalizador gastado de FCC

El catalizador gastado de la unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC), es básicamente un material de alúmina, que se puede considerar como una arcilla refractaria con 80% de alúmina, que además contiene níquel y vanadio, debido a su condición de desgaste en el proceso, siendo un sólido particulado de color gris, con una granulometría entre 5 micrones a 20 micrones.

Es un material recuperable no peligroso proveniente de la Unidad de FCC que según DAU Metal Venezuela⁽³⁴⁾, su contenido de alúmina lo vincula dentro de ésta clasificación, que de por sí, facilita las acciones en su disposición final.

Durante el craqueo de hidrocarburos pesados en el proceso de FCC, según el Manual de Refinación, se depositan

metales tales como níquel y vanadio en el catalizador, perdiendo de esta manera su capacidad de intervenir en las reacciones químicas involucradas. Para evitar tal situación, la regeneración del catalizador, que es un proceso llevado a cabo hasta que termine la vida útil del mismo y tenga que ser reemplazado totalmente, actúa quemando el lecho de carbón formado sobre el mismo, originándose CO_2 y ayudando al balance térmico de la unidad.

De acuerdo con el Manual de Refinación, una vez que el catalizador entra al reactor, el excedente pasa directamente a la unidad regeneradora, donde, como su nombre lo indica, es regenerado mediante reacciones de combustión que generan gases, los cuales salen por el tope, arrastrando cierta cantidad de catalizador, denominada, finos de catalizador (Ver Gráfico N° 14). Estos finos son separados de los gases de combustión mediante el uso de un precipitador electrostático M-6143 (Ubicado en la sección de reacción).

Gráfico N° 14. Vista de planta FCC mostrando escape de finos por su chimenea

Fuente: El Autor (2010)

En el regenerador, se retira una determinada cantidad de catalizador, dependiendo de la actividad que mantenga el mismo en el sistema, llamado catalizador de equilibrio, el cual es almacenado en la tolva D-6110 con capacidad de 683m^3 , de 20 m. de largo y 6.4 m. de diámetro.

La tasa degeneración de finos de catalizador gastado de FCC es de aproximadamente 3, 5 toneladas al día, según especificaciones de diseño del sistema y se escapan a la atmósfera junto a los gases de combustión a través de la Chimenea B-6102, cuya altura es de 60 m. y diámetro interno de 3, 12 m., con dos puntos para toma de muestra situados a 90° con válvula de cierre, ubicados a más de 8 diámetros de la entrada de flujo y más de 2 diámetros de su salida a la atmósfera, según 3A C.A.⁽³⁵⁾.

Los finos de catalizador de FCC, cuando se escapan hacia la atmósfera dado la granulometría fina, se esparcen libremente por el aire pudiendo ser arrastrados hasta kilómetros lejos de la refinería, y además pudiesen combinarse con la humedad y precipitarse hacia la superficie terrestre.

Con la puesta en funcionamiento del inoperante precipitador electrostático M-6143 (Está siendo intervenido para su puesta en funcionamiento), las pérdidas de catalizador que usualmente se escapan por la chimenea B-6102 junto con gases de combustión, serían almacenadas por el referido precipitador y dispuestos en una tolva para su debido envasado, siguiendo los lineamientos y normativas internas de PDVSA y según las disposiciones establecidas en el Decreto N° 2.635.

Importante resulta referenciar, que el precipitador electrostático de la unidad de FCC ha sido concebido para recibir una alimentación gaseosa de entrada de $345\text{mg}/\text{m}^3$ de material particulado, según sus especificaciones de diseño⁽³⁶⁾, lo cual permite inferir que su inoperatividad permite el escape a la atmósfera de dicha corriente gaseosa.

Lo anterior, claramente indica que de ser arrojados, tal concentración gaseosa a la atmósfera, se trasciende los límites permisibles establecidos en el Decreto N° 638 sobre “Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica”⁽³⁷⁾, el cual norma una emisión de $50\text{mg}/\text{m}^3$ para partículas sólidas en la regeneración de las unidades de craqueo de refinerías de petróleo.

Otras implicaciones relacionadas al manejo de los finos de catalizador gastado, son las relacionadas a su manipulación, cuando éstos son descargados desde el precipitador hacia las tolvas de disposición temporal, dado que se genera una especie de nube de polvo grisácea de partículas suspendidas que según Berroterán⁽³⁸⁾, en el año 2002, corresponde a una concentración de $289\text{ug}/\text{m}^3$ obtenido a través de un muestreador de alto volumen o HVS (Por sus siglas en inglés) de acuerdo con la norma COVENIN 2060:1996 “Análisis de los Contaminantes del Aire”.

Es importante referenciar que la emisión de partículas sólidas o finos de catalizador gastado y su dispersión en la atmósfera viene influenciado por las condiciones climáticas del área predominantes, que de acuerdo con un estudio de calidad del aire realizado por *Environmental Acasia Assessments* en el año 2008⁽³⁹⁾, engloba, además de las precipitaciones, a las siguientes variables ambientales:

- Dirección predominante del viento: Este (E=93, 5%), Este noreste (ENE =2.2%); Norte (N=2.2%) y Oeste noroeste (WNW =2.2%). La dispersión de los vientos en el área es de 97, 8 % hacia el cuadrante Suroeste (SW) de la Refinería.
- Velocidad del viento: El promedio de velocidad del viento corresponde a 4, 95 (mph) 2, 2m/s, con una velocidad máxima de 22 (mph) 9, 8 m/s.
- Temperatura: La temperatura media se corresponde a 25, 6 °C, con un máximo de 30°C y un mínimo de 22, 2 °C.
- Presión barométrica: La presión barométrica se corresponde a 762, 5 mmHg con un máximo de 765, 1 mmHg y un mínimo de 757, 2 mmHg.
- Humedad relativa: La humedad relativa promedio se corresponde con 69%, siendo el valor máximo de humedad 83% y el mínimo de 49%.

De acuerdo con el mencionado estudio de calidad del aire del año 2008 realizado por *Environmental Acasia Assessments*, refiere valores de concentración de partículas totales suspendidas realizadas en tres (3) estaciones de muestreo, las cuales se muestran en la Tabla N° 1.

Las estaciones de muestreo para el estudio de determinación de calidad del aire, han sido las siguientes:

- Estación Sur Refinería: Ubicado sobre las coordenadas 10° 28' 36" N; 068° 07' 30" W. Fuera de los linderos de la refinería.
- Estación Materiales PDVSA: Ubicado sobre las coordenadas 10° 28' 51" N; 068° 06' 05" W. Dentro de los linderos de la refinería.
- Estación CAREP: Ubicado al oeste de la refinería, sin determinarse la localización geográfica. Dentro de los linderos de la refinería.

Tabla N° 1. Concentración de partículas totales suspendidas en REP 2008.

Fuente: Environmental Acasia Assessments.(2008).

Los porcentajes de excedencia 50% y 5% para las concentraciones de partículas totales suspendidas de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecidos en el Decreto N° 638 "Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica" fueron superados en la Estación Bariven.

En la Estación SUR 6, se superó el porcentaje de 50 % para 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el caso de la Estación CAREP fueron superados todos los porcentajes establecidos en el referido Decreto.

En la anterior Tabla N° 1, se infieren valores fuera de norma según lo permisado en el Decreto N° 638 "Normas sobre la calidad del aire y el control de la contaminación atmosférica", sin embargo, es importante saber que éstos altos valores no sólo reflejan el material particulado emitido por los finos de catalizador gastado de FCC despojado junto con los gases de combustión por la chimenea B-6102, sino que están acompañados de partículas asociadas a los gases de combustión de las chimeneas de REPy de otras fuentes de combustión como lo son, las unidades vehiculares que circulan dentro y fuera de sus instalaciones, acompañado de fuentes naturales de emisión.

Continuando con lo anterior referido, en el año 2011, Hidrolab Toro Consultores⁽⁴⁰⁾, realizó otra caracterización puntual de calidad del aire, en periodo lluvioso (mayo), cumpliéndose con lo especificado en el Decreto N° 638,

considerándose cuatro (4) estaciones de muestreo.

A continuación, se muestra la Tabla N° 2, donde se expresan los valores obtenidos en la respectiva caracterización.

Tabla N° 2. Concentración de partículas totales suspendidas –Calidad del aire en REP 2011.

Fuente: Hidrolab Toro Consultores C.A. (2011).

Las estaciones de muestreo para el estudio de determinación de calidad del aire, han sido las siguientes:

- Estación N°1: Edificio de MCP: Ubicado sobre las coordenadas 10° 29' 03, 57" N; 68° 07' 00, 57" O. Dentro de los linderos de la refinería.
- Estación N° 2: Calle Sur: Ubicada sobre las coordenadas 10° 28' 37, 15" N; 68° 07' 29, 42" O. Fuera de los linderos de la refinería.
- Estación N° 3: Sub-Estación N° 13: Ubicada sobre las coordenadas 10° 29' 11, 34" N; 68° 07' 22, 82" O. Dentro de los linderos de la refinería.
- Estación N° 4: Edificio SHA: Ubicado sobre las coordenadas 10° 28' 51, 21" N; 68° 07' 22, 44" O. Dentro de los linderos de la refinería.

En orden creciente, la concentración promedio de material particulado suspendido en cada una de las estaciones es la siguiente:

Estación N°2-Estación N° 4 -Estación N° 3 -Estación N° 1

37, 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 46, 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 62, 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -78, 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Considerando que el estudio se realizó en época de lluvia, durante los días de monitoreo se registraron lluvias moderadas, contribuyendo a la deposición y sedimentación más rápida de partículas y cambio químico de gases, por lo que es recomendable realizar un estudio en época de sequía para determinar los valores más críticos de las partículas sólidas suspendidas.

En líneas generales, se aprecia con el referido estudio, que la calidad del aire en el área de influencia inmediata a la Refinería El Palito cumple con los límites establecidos en el Decreto N° 638, de acuerdo con los resultados obtenidos para las estaciones estudiadas, dado que el referido decreto considera que valores por debajo de 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, se asocia a un aire limpio. Es importante indicar que solo la Estación MCP registró un valor promedio de 78, 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y según el mencionado decreto, valores entre 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se corresponden con un aire moderadamente contaminado.

Sin embargo el investigador considera oportuno la posibilidad de hacerse en período de sequía, adicionando mas puntos de muestreo ubicados a la misma altura uno del otro, en ubicaciones fuera del limite de batería de la refinería, dado que el material particulado desprendido de la chimenea de FCC, dado a su altura, tiene una capacidad de dispersión que supera el reseñado límite, afectando a las comunidades cercanas. De hacerse la evaluación que el investigador refiere, el resultado que pudiese obtener por la concentración de material particulado es sabido que no solamente sería por el aporte de las emisiones de la refinería, sino que se adiciona el aporte vehicular, el de otras industrias y actividades cercanas, así como también del ambiente (Arena, polen).

Marco Teórico Referencial

Condiciones actuales de manejo desechos sólidos peligrosos y no peligrosos en la REP

El almacenamiento temporal seleccionado para los desechos de naturaleza peligrosa y no peligrosa se asume

mientras se posibilita el reuso o recuperación de dichos desechos para diferentes opciones industriales diferentes de sus procesos de origen. Para ello la Refinería El Palito cuenta en su Zona Sur, con un área de acondicionamiento de desechos y dos galpones de almacenamiento de desechos.

La Autorización para la Ocupación del Territorio que permite realizar tal actividad, fue autorizada por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente de acuerdo con la comunicación N° 123 del 09 de octubre de 1995.

Aunque los desechos recuperables de naturaleza no peligrosa, están regulados por el Decreto 2.216, dentro de la REP a estos desechos se les maneja bajo criterios establecidos en el Decreto 2.635, por ser éste el documento que determina el grado de peligrosidad y riesgo de un material.

La propuesta de adecuación dentro de la REP se orienta a la consolidación de aspectos como el reuso y comercialización de los materiales recuperables no peligrosos, disminución de las existencias e inventarios de desechos y manejo de los pasivos ambientales, según lo referido en el Plan de Adecuación Ambiental de Refinería El Palito.

Acciones de control en la generación de desechos sólidos

El proceso de generación, tratamiento y control de los desechos sólidos originados en la Industria Petrolera, de acuerdo con el Manual de Participante del Manejo de Desechos Sólidos de PDVSA (1991), no contaba hace varios años atrás con lineamientos definidos que exigieran la optimización del mismo, debido a que no existía control en el manejo de los desechos sólidos industriales de carácter recuperable, independientemente de su naturaleza o peligrosidad, y más bien para el inicio de los años 90, sólo se recuperaba la chatarra metálica y el resto de los desechos eran dispuestos en terrenos a cielo abierto, incluyendo los desechos tóxicos y peligrosos.

Tal escenario, evidentemente se constituye en una situación que pudiese desencadenar efectos nocivos al ambiente, debido al efecto lixiviador de las aguas de lluvia, la contaminación de los suelos y acuíferos, tanto superficiales como subterráneos, afectando el uso de estos recursos y su disponibilidad para consumo humano, uso industrial o recreativo.

La minimización de los desechos sólidos de origen industrial de cualquier naturaleza, produce impactos benéficos sobre el ambiente y la empresa generadora de desechos, además reduce los riesgos a la salud asociados al manejo y disposición de los mismos, según el “Taller de Manejo de Desechos Sólidos en PDVSA (1991)”⁽⁴¹⁾, siendo estos detallados a continuación.

Beneficios económicos

- Reducción de costos de operación y mantenimiento, ocasionados por las horas-hombre invertidas en la descarga, limpieza y carga de equipos.
- Reciclaje de los desechos.
- Reducción de costos por diseño y operación de sistemas de tratamiento y disposición final.

Beneficios de productividad

- Desarrollo de la capacidad profesional del personal, al realizar estudios técnicos de sustitución, adecuación o recuperación de los materiales.
- Evaluación continua de procesos para el mejoramiento de la calidad.

Beneficios ambientales

- Disminución del inventario de desechos a disponer con o sin control.
- Reducción de la magnitud del impacto ambiental sobre el sitio de disposición final.
- -Disminución de los requerimientos de áreas para dicha disposición, ganando espacio la naturaleza para expandir sus ecosistemas.

Consideraciones y posibles efectos a la salud por manipulación con finos de catalizador gastado de FCC

Dado que la granulometría de los finos de catalizador de FCC (5-20 micrones) se asemeja hasta cierto rango a la del polvo común (<10 micrones), se presupone poseer iguales implicaciones en la salud del ser humano y poseer la capacidad de dispersarse por el aire.

Los finos de FCC, según la norma MA-01-02-05 de PDVSA “Manejo Integral de Catalizadores Gastados”⁽⁴²⁾, son provenientes de un catalizador gastado que pierde sus propiedades químicas, por lo que debe ser reemplazado al contaminarse con los metales derivados del producto con el que reacciona para fraccionar las moléculas de hidrocarburo, y su granulometría refiere ser semejante a la del polvo común.

Según lo anterior, al relacionar las implicaciones del polvo con las de los finos, y asumiendo que de alguna u otra manera pudiesen derivarse efectos nocivos a la salud, aunque ésta conjetura no posee respaldo científico que lo valide, el investigador se adelanta en referir que para evitar cualquier implicación a la salud que de alguna u otra manera pudiese vincularse a los finos de FCC, en términos de su manipulación, se recomienda el uso de mascarilla contra polvo.

Con el uso de la mascarilla contra polvo, se reduce la exposición al riesgo por inhalación, dado que se evita el contacto directo con las vías respiratorias y la mascarilla sirve como filtro del aire que inhala el individuo. En función de esto, el investigador refiere que las afecciones que pudiesen manifestarse en el individuo, estarían dadas por varios factores como lo son las condiciones físicas de la persona, presencia de humedad en el aire y tiempo de exposición a los finos de catalizador.

De acuerdo con lo anterior, el investigador refiere que el uso de mascarillas contra polvo (Sugiriendo usar las de protección contra polvo de sílice y alúmina, por poseer alta efectividad), que pueden adquirirse en diversas casas comerciales, deben estar acordes con las especificaciones de calidad aprobadas por organismos internacionales como NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health* o Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional), OSHA (*Occupational Safety and Health Administration* o Administración de Seguridad y Salud Ocupacional), y ANSI (*American National Standards Institute* o Instituto de Estándares Nacionales Americanos).

Algunos efectos de exposición al polvo sin protección alguna y sin acato de las disposiciones de la higiene ocupacional que refiere la Organización Mundial de la Salud, la normativa nacional e internacional y la propia norma HO-H18 “Programa de Protección Respiratoria”⁽⁴¹⁾ de PDVSA, podrían ser:

- La exposición intensa al polvo causa irritación a los ojos, la nariz, la garganta y en casos crónicos, los pulmones, de ello se refiere que las personas que entran a áreas que están cubiertas de polvo deberían considerar evitar la exposición prolongada.
- El asma y los síntomas como el silbido del pecho y la dificultad para respirar ocasionalmente son causados por la exposición a una alta cantidad de algún irritante como el polvo. Según lo anterior, es importante indicar que el tiempo de exposición es determinante, a la hora de realizar un estudio sobre las posibles afecciones que tuviese el contacto directo con los finos de catalizador de FCC.

Lo que se concluye es que haciendo uso de la respectiva mascarilla contra polvos, se disminuye la exposición al riesgo por contacto con dichos desechos, y ello debe ser una práctica operativa y cotidiana al momento de

manipular dichos finos, como una medida de seguridad.

En Venezuela, la legislación ambiental a saber, es decir, el Decreto N° 638 “Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica” regula lo relativo a la calidad del aire en términos de partículas totales suspendidas y para fuentes fijas de emisión, regula lo relacionado a material particulado, pero en todo caso, esto se ajusta y se engloba en la denominación de “partículas suspendidas”, para lo cual el rango de diámetro concebido es menor a 60 micras.

Considerando lo anterior, la legislación venezolana no es tan exhaustiva como la legislación internacional, especialmente la europea, donde se concibe al material particulado como una compleja mezcla de partículas suspendidas en el aire, variando en tamaño y composición dependiendo de sus fuentes de emisiones ⁽⁴⁴⁾ y donde también acepta los criterios de material particulado para fracciones más específicas y concebidas como las más dañinas para la salud humana, como son el PM_{2,5} y PM₁₀, constituyéndose en la fracción respirable.

El Material Particulado - PM_{2,5}, (De partículas inferiores a 2.5 micras, fracción fina) ⁽⁴⁵⁾, representa el material de tamaño más fino y resulta ser más dañino porque puede llegar más fácilmente al tejido pulmonar donde quedan alojadas (Alvéolos).

El material particulado, según el Departamento de Química y Edafología de la Universidad de Navarra-España ⁽⁴⁶⁾, penetra en el organismo por las vías respiratorias y profundiza más o menos en función de su diámetro. Así, las partículas inhalables (Diámetro inferior a 100 µm) quedan retenidas en las vías respiratorias altas (nariz y boca); las partículas torácicas (Diámetro inferior a 10 µm, también denominadas PM10) penetran más allá de la laringe y alcanzan la región traqueo bronquial.

Consideraciones generales sobre catalizadores gastados y posibles tratamientos de disposición

De acuerdo con ARPEL (2008) ⁽⁴⁷⁾, las refinerías usan un gran número de catalizadores para una variedad de propósitos: Descomposición térmica, reformación, polimerización, extracción de contaminantes indeseables y craqueo de moléculas como el caso del catalizador usado para la unidad de FCC, y objeto de estudio del presente trabajo de investigación.

La mayoría de los catalizadores poseen una base de alúmina y sílice, a los cuales se le han agregado metales, y no solamente sus composiciones son diferentes, sino que también reciben acumulaciones de diversos contaminantes. Además algunos son arrojados fuera de las unidades de operación en un estado sin regeneración, creando un peligro de incendio. Sin embargo, de acuerdo con nuestro objeto de estudio, los finos de catalizador y el propio catalizador gastado ya han pasado por una etapa de regeneración que le desprende el coque formado a los mismos.

Los catalizadores no deben ser mezclados y deben guardarse en un lugar seguro y bien construido, claramente identificable. Los catalizadores sin regeneración deben ser guardados en recipientes bajo capa de gas inerte (nitrógeno o hielo seco).

Los empleados involucrados en el manejo de catalizadores gastado deben estar capacitados con los procedimientos apropiados de operación y debe tener conocimiento de los incendios potenciales y las precauciones de salud y seguridad.

Algunas jurisdicciones internacionales, consideran a todos los catalizadores como peligrosos, pudiendo la refinería verificar con las autoridades ambientales de regulación, las clasificaciones aplicables a los diferentes catalizadores.

En este mismo marco de ideas, el investigador hace un paréntesis para expresar que en Refinería El Palito, de acuerdo a previas caracterizaciones realizadas al desecho, los finos de catalizador gastado aunque se constituyen

como un desecho inerte y no peligroso, es manejado en términos de envasado, de acuerdo con las directrices del Decreto N° 2.635 sobre el manejo de los desechos peligrosos, a los fines de garantizar una mejor disposición y un mayor resguardo de los elementos del ambiente.

Retomando los planteamientos de ARPEL 2008, todos los recipientes contentivos de catalizadores gastados enviados para disposición final fuera de las instalaciones de la refinerías asociada como fuente generadora, deben estar claramente etiquetados señalando el tipo de contenidos y las precauciones sobre la salud, seguridad y emergencias.

El conductor de vehículos designado para el transporte de catalizadores, hacia el lugar de disposición final, que sería el ente manejador, deberá poseer además de las hojas de seguridad de los catalizadores, o la respectiva caracterización, el respectivo RASDA o Registro de actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente, y contar con su plan de emergencia en caso de accidentes y derrames, así como de la Hoja de Seguimiento del desecho.

Una proporción relativamente significativa de catalizador gastado se elimina en sitios de confinamiento sanitario, que pueden recibir el material, aun estando mojado, sin embargo, la tendencia es evitar usar el método de confinamiento. La fijación química se usa algunas veces y la eliminación seca, así como el cultivo de suelos no se recomiendan, dado la presencia de metales pesados de mayor preocupación como el níquel, vanadio y antimonio, dado que la lixiviación asociada es un problema potencial.

El catalizador gastado no necesariamente es un residuo, siendo una práctica que aún prevalece, el vender éstos catalizadores gastado en equilibrio a otra refinería que pueda aprovechar sus propiedades. Otra opción es la desmetalización del catalizador y regresarlo a la unidad, así como también está, el reuso en otro sector ajeno al de refinación, para usos diversos como los reseñados en la sección de antecedentes de la presente investigación.

Considerando todas las anteriores argumentaciones referidas por ARPEL en 2008, se expresa también, dentro del mismo orden de ideas, que la eliminación mediante una mezcla agregada de concreto es posible, pero una opción más aceptable para el medio ambiente es la recuperación de la alúmina; ingrediente necesario para la fabricación del cemento Pórtland. Mediante el consumo químico del catalizador no se crean responsabilidades en el futuro, debido a que el cemento se calcina a temperaturas cercanas a 2.000 °C, los metales se vaporizan y se extraen de los gases de la chimenea del horno. Pruebas realizadas en Europa han mostrado que el catalizador gastado se puede mezclar en el cemento en concentraciones de hasta un 6%.

Estudios recientes en Europa han mostrado que si el contenido de antimonio del catalizador es menor de 600ppm, hasta 5% del catalizador gastado se puede usar como relleno de asfalto. A concentraciones mayores de antimonio, la cantidad de catalizador en el relleno debe ser menor de 3%. Estos mismos estudios, también mostraron que hasta 5% de catalizador se puede usar en ladrillos, aun cuando los metales de cuidado permanecen en el material durante la fase de quemado. Esta afirmación se constituye como un antecedente importante sobre la posibilidad de poder usar los finos de catalizador gastado de FCC para la obtención de productos alfareros.

Alfarería, materia prima y características

El término alfarería deriva del árabe “alfar”, siendo su fundamental materia prima, la arcilla. Puede definirse la arcilla como una sustancia mineral terrosa compuesta en gran parte de hidrosilicato de alúmina que se hace plástico cuando se humedece y semejante a una roca cuando se cuece. Otra definición podría ser la disgregación y descomposición de las rocas feldespáticas durante millones de años para dar lugar a partículas pequeñísimas (Disponible en: Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2009)⁽⁴⁸⁾.

García y Suárez⁽⁴⁹⁾, definen arcilla, de la siguiente manera:

- Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino, siendo inferior a 2micrones (μm).
- Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2 μm . Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 2 micrones (μm).

Según los autores antes citados, las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

Ahora bien, en cuanto a las propiedades de la arcilla, éstas son básicamente el color, plasticidad, la merma, refractariedad y porosidad, siendo ellas determinantes para su distinción y tipología. Véase a continuación una breve descripción de las referidas propiedades de las arcillas (Disponible en: Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2009).

Color: Las arcillas presentan coloraciones diversas después de la cocción debido a la presencia en ellas de óxido de hierro, carbonato cálcico, etc.

Plasticidad: Mediante la adición de una cierta cantidad de agua, la arcilla puede adquirir la forma que uno desee. La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Merma: Al contacto continuo con el aire, la arcilla pierde agua y se seca, con lo cual pierde volumen, siendo un proceso conocido como contracción, encogimiento o merma.

Refractariedad: Todas las arcillas son refractarias, es decir resisten los aumentos de temperatura sin sufrir variaciones, aunque cada tipo de arcilla tiene una temperatura de cocción.

Porosidad: El grado de porosidad varía según el tipo de arcilla. Esta depende de la consistencia más o menos compacta que adopta el cuerpo cerámico después de la cocción. Las arcillas que cuecen a baja temperatura tienen un índice más elevado de absorción puesto que son más porosas.

Dentro del mismo orden de ideas, las arcillas pueden clasificarse de distintas maneras según el aspecto que se tenga en cuenta: color, plasticidad, fusibilidad y según se encuentren en la naturaleza, tal como lo refiere de igual forma, la fuente antes citada.

- *Según existan en la naturaleza:* Existen las primarias y las secundarias.

Arcillas primarias o residuales: Son las formadas en el lugar de sus rocas madres y no han sido por tanto transportadas por el agua, el viento o el glaciar. Estas tienden a ser de grano grueso y relativamente no plásticas. Cuando han sido limpiadas de fragmentos de roca, son relativamente puras, blancas y libres de contaminación con materiales arcillosos. La mayoría de los caolines son arcillas primarias.

Arcillas secundarias: Son las que han sido desplazadas del lugar de las rocas madres originales. Aunque el agua es el agente más corriente de transporte, el viento y los glaciares pueden también transportar arcilla. Estas son mucho más corrientes que las anteriores y tienen una constitución más compleja debido a que están compuestas por material procedente de distintas fuentes: hierro, cuarzo, mica, materias carbonosas y otras impurezas.

- *Según la plasticidad:* Existen las arcillas plásticas y las antiplásticas.

Arcillas plásticas: Forman una especie de pasta con el agua y se convierten en modelables

Arcillas antiplásticas: Confieren a la pasta una determinada estructura, que pueden ser químicamente inertes en la masa o crear una vitrificación en altas temperaturas (fundentes).

- *Según su fusionalidad:* Según el punto o grado de cocción, existen las arcillas refractarias y las fusibles o de alfarería.

Arcillas refractarias: Arcillas y caolines cuyo punto de fusión está comprendido entre 1.600 y 1.750°C, siendo por lo general, blancas, grises y poco coloreadas después de su cocción.

Arcillas fusibles ó arcillas de alfarería: Arcilla cuyo punto de fusión se alcanza por encima de los 1.100°C, siendo de color castaño, ocre, amarillo o marfil tras su cocción y se suelen encontrar cerca de la superficie del suelo. Suelen contener ilita acompañado de una proporción de caliza, óxido de hierro y otras impurezas

Además de las arcillas antes mencionadas, en relación a su tipología, existen otras tantas para usos muy determinados como lo son: tierras para adobe, arcilla apedernalada, esquisto, bentonita, arcilla para terracota, buxita o diaspora, el gumbo, la greda, ocre, umbra y siena.

En líneas generales, el tipo de arcilla varía según sus elementos constituyentes y usos prácticos, sirviendo bien sea para uso artesanal y/o decorativo que generalmente es de producción a escala baja, así como también se tiene la producción a gran escala, que es relativa al sector industrial con fines de construcción civil y decorativos.

Las técnicas a nivel artesanal de la arcilla, comprenden el modelado a mano, por tornos y por vaciado, siendo las técnicas manuales las más primitivas (Disponible en: , 24, m, 1455&r=ReP-1760-DETALLE_REPORTAJESABUELOn civil.)⁽⁵⁰⁾.

Según la fuente anterior, normalmente las piezas cocidas en un horno, se terminan manualmente para darles un toque estético y la técnica del vaciado utiliza moldes que la hacen especialmente indicada para la producción en masa de piezas idénticas.

En cuanto a las técnicas de terminado y decoración, han evolucionado mucho a lo largo del tiempo, existiendo actualmente varias posibilidades. Por un lado, destacan los aditivos que le dan color a la arcilla antes de modelarla, o contribuyen a conseguir la textura deseada, como la arena.

Con el bruñido las piezas, éstas quedan pulidas y brillantes y mediante el lustre se puede conseguir una superficie más acabada mediante la aplicación de una fina capa de barbotina (Arcilla líquida) sobre la arcilla seca. Por último, los esmaltes acaban por decorar las piezas, en diferentes momentos del proceso, según las técnicas y materiales que se empleen.

Precipitador Electrostático (PE)

El Precipitador Electrostático, según el investigador, se constituye en un dispositivo de control de emisiones atmosféricas, en este caso particular, en aquellas con contenido de material particulado, teniendo la funcionalidad de capturar los finos de catalizador de FCC que actualmente se escapan por la chimenea B-6102y depositarlos en tolvas para su disposición final, según su filosofía operacional. (Ver Gráfico N° 15).

Gráfico N° 15. Sistema de emisión de gases de combustión y captación de finos de FCC.

Fuente: El Autor (2011)

Sucede que actualmente para el año en curso 2012, no se encuentra operativo el equipo y ello permite que al escaparse los finos de catalizador por la atmósfera a razón de 3, 5 toneladas diarias, se dispersen por el aire dado su granulometría fina, representando potencialidad de afectación a las comunidades que circundan del área de influencia de la Refinería El Palito, específicamente a Puerto Cabello y Morón.

Retomando lo anterior, en el Gráfico N° 16 se puede visualizar el rango de acción y dispersión del material particulado en el área de influencia de la refinería, según monitoreo de calidad del aire realizado en el año 2002 por la empresa TECSULT⁽⁵¹⁾. Esta situación se constituye en un potencial riesgo ambiental, en términos de afectación de la calidad del aire respirable por las comunidades susceptibles de afectación según el radio de acción del material particulado, mostrado en el referido gráfico.

Gráfico N° 16. Dispersión de material particulado en área de influencia de la Refinería El Palito.

Fuente: Monitoreo de Calidad del Aire. (2002). TECSULT. PDVSA.

Considerando lo anterior expuesto, resulta importante argumentar la necesidad de la puesta en servicio del mencionado dispositivo, por lo que es importante argumentar los antecedentes de ejecución de trabajos tendientes a su oportuna puesta en operatividad, definir las actividades críticas de ejecución, identificar las desviaciones en el alcance de la obra de puesta en servicio del equipo y finalmente identificar las actividades pendientes por ejecución para su adecuada operatividad.

Según Gutiérrez⁽⁵²⁾, el Precipitador Electrostático se encontraba fuera de servicio desde el año 2004 debido a que en su momento se presentaron problemas de fugas en las válvulas guillotina, lo que representaba una condición insegura para realizar trabajos internamente, por lo que se aisló el equipo y quedó pendiente su reactivación.

En el año 2008 se convocó al personal de General Electric (Licenciante del equipo), quienes realizaron una visita al campo y levantaron un alcance mecánico del equipo, el cual fue validado por Ingeniería de Instalaciones y entregado a Reparaciones Mayores, con este alcance se compraron las nuevas partes y se armó una estrategia para intervenir el equipo, que involucró un proceso de contratación que fue declarado desierto en 2 oportunidades.

Los trabajos para la reactivación del precipitador electrostático M-6143 iniciaron durante el mes de mayo del año 2009 enmarcados dentro de los trabajos de la Parada de Planta General de la Unidad de FCC, creándose una Orden de Servicio (ODS) con la empresa contratista QUINTOCA, quienes tenían un contrato marco dentro de la REP.

Según lo anterior, Gutiérrez (2011), refiere que para esta primera fase de ejecución mecánica, los trabajos realizados más resaltantes fueron: Remoción de aislamiento térmico; inspección y reparación de láminas de las caras norte, este y oeste; instalación de aislamiento térmico en las caras norte, este y oeste; remoción e instalación de nuevos Transformadores-Rectificadores; remoción e instalación de nuevos martillos (Rappers); remoción e instalación de nuevas puertas de acceso a Penthouse, campos y tolvas; remoción de gabinete de control de martilleo existente e instalación de nuevos controladores de martilleo.

Siguiendo con lo anterior, otros trabajos para la operatividad del precipitador incluyen: instalación de nueva computadora de control del equipo en la sala de control de la Unidad de FCC; instalación de nuevo sistema de aire de purga en el Techo del equipo y finalmente la remoción e instalación de nuevas válvulas guillotinas en la entrada, salida y by-pass del equipo.

Debido a la necesidad y generación de alcances adicionales (Principalmente para las disciplinas de electricidad e instrumentación) y el retraso del armado de andamios en la cara sur por parte de PDVSA, aunado a las desviaciones

que se presentaban a nivel contractual, se decidió finalizar la ODS con la empresa contratista QUINTOCA en el mes de diciembre de 2009. Así mismo, se consideró detener las actividades hasta tanto no se recibiera el alcance definitivo de las disciplinas faltantes y se contara en los almacenes con todos los materiales necesarios para la ejecución de dicho alcance, de tal forma que se garantice una culminación eficiente y productiva de los trabajos.

En el mes de enero del 2010 se recibió el alcance consolidado de las disciplinas de electricidad e Instrumentación y se realizaron 2 solicitudes de contratación:

Obras Mecánicas, de Electricidad e Instrumentación para la reactivación del Precipitador Electrostático.

Adecuación de la Cara sur del M-6143, para lo cual se realizó una Orden de Servicio (ODS) con la empresa contratista HAFRAN para finalizar el aislamiento térmico del equipo en la cara Sur que había quedado pendiente.

Continuando con las gestiones de operatividad del precipitador electrostático, para el año 2012 se ha venido trabajando en la contratación de los siguientes servicios, estando pendientes por ejecución:

- -“Adecuación Área Sur FCC y M-6143 (Instalación de Aislamiento Térmico)”, por parte de la empresa contratista Ducto de Salida de la B-6102 y Actividades Relacionadas”, sin empresa adjudicada por estar en proceso actual de licitación.

Riesgos Ambientales

De acuerdo con COEPA ⁽⁵³⁾, el riesgo ambiental “Se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno que afecta directa o indirectamente al medio ambiente”.

De acuerdo con lo anterior, la norma PDVSAIR-S-00 ⁽⁵⁴⁾, define al riesgo como “La medida del potencial de lesiones humanas, daño ambiental o pérdidas económicas, en términos de la probabilidad de ocurrencia de un accidente (Frecuencia) y magnitud de lesiones, daño al ambiente o pérdidas económicas (Consecuencias).

La inoperatividad del precipitador electrostático se constituye en una situación de desviación operacional que debe ser corregida. El escape o fuga de los finos de catalizador a través de la chimenea de la planta de FCC, permite que los mismos se esparzan por el aire y se constituya en una situación de potencial riesgo al ambiente y a la salud de los miembros de la comunidad circunvecina al área de influencia de refinería. Esto último, debido a que se modifica la calidad del aire respirable, el cual presenta una carga importante de material particulado.

La norma PDVSA SI-S-19 ⁽⁵⁵⁾, establece que se entiende por desviación al incumplimiento o variación indeseada con relación a un estándar, norma, procedimiento o mejor práctica establecida, que se produce debido a una falta de conocimiento o actitud inadecuada, individual o de la organización, y que puede desencadenar pérdidas reales o potenciales y afecta a personas, ambiente o patrimonio.

Dentro del contexto de los riesgos ambientales, otras definiciones claves, referidas en la norma PDVSA IR-S-00 son las siguientes:

Peligro: Es la característica del sistema, planta o proceso o condición física, química, biológica o ambiental aislada o combinada, que tiene potencia de producir daño a personas, al ambiente y/o instalaciones.

Sensibilidad Ambiental: Es el grado de susceptibilidad inducida que tiene el ambiente como respuesta a las alteraciones de sus componentes físicos, bióticos, socioeconómicos y culturales hasta retomar al nuevo equilibrio del sistema.

Severidad: Es la medida cualitativa de la consecuencia ocasionada por la ocurrencia de un accidente, establecida mediante escalas a las cuales son asignados criterios de daños distintivos.

Accidente: Es todo evento o consecuencia imprevisto y no deseado que interrumpe o interfiere el desarrollo normal de una actividad y origina uno o más de las siguientes consecuencias: Lesiones personales, daños materiales, afectación al ambiente y pérdidas económicas.

Accidentes con Impactos al Ambiente: Es todo evento que provoca el deterioro o degradación del aire, de los cuerpos de agua, sus cuencas y riberas, mantos acuíferos, lagos, lagunas o demás depósitos de aguas, incluyendo sistemas de abastecimiento, medio lacustre, marino y costero; de los suelos, subsuelo, topografía y paisaje, de la fauna y flora y sus hábitats. Tales eventos se derivan de situaciones imprevistas o que contravienen las normas técnicas ambientales o las condiciones, limitaciones y restricciones establecidas en las autorizaciones o permisos de operación correspondientes.

Según las definiciones anteriores que sirven para entender el contexto de riesgos ambientales, se concibe que los finos de catalizador gastado de FCC que se escapan por la Chimenea B-6102, por sus características físico-químicas no resultan peligrosos de acuerdo al Decreto 2.635. Sin embargo la implicación de riesgo ambiental potencial esta en función que su granulometría fina le otorga la particularidad de esparcirse por el aire y ello pudiese alterar la calidad del aire respirable por las comunidades que circundan el área de influencia de la refinería. Aunado a esto, la manipulación directa de este desecho cuando es almacenado ya sea a granel o en tambores metálicos, pudiese constituirse en una situación de riesgo por el personal involucrado en su manipulación, siempre que la exposición sea constante y por largos períodos de tiempo. Por ello el investigador sugiere el uso de mascarilla para protección de polvos de alúmina y sílice para disminuir la exposición al riesgo.

La norma PDVSA SI-S-19, en su anexo C, evidencia una matriz cualitativa para calificar el riesgo de una desviación (Ver Tabla N° 3, la cual podría usarse para cualquier condición de desviación que represente un riesgo potencial al ambiente.

Tabla N° 3. Matriz cualitativa para calificar el riesgo de la desviación

Fuente: Norma PDVSA SI-S-19.

Según la matriz anterior, para el análisis cualitativo de la calificación del riesgo de una desviación, habría tan solo que enfocarse en la columna denominada “Ambiente” en la sección de “SeveridadPotencial” (Delineada en color azul), relacionando la posible afectación o no de la severidad junto con la “Frecuencia Potencial Anual”.

La tabla N° 4 Frecuencia Potencial Anual y la Tabla N° 5 Severidad Potencial describen en detalle los criterios para la clasificación cualitativa que implica la determinación de un riesgo ambiental según la referida norma PDVSASI-S-19.

Tabla N° 4. Frecuencia Potencial Anual

Fuente: Norma PDVSA SI-S-19.

Tabla N° 5. Severidad Potencial

Fuente: Norma PDVSA SI-S-19.

La valoración final del riesgo potencial por una situación de desviación según la norma PDVSA SI-S-19y las acciones generales a implementarse para disminuir la exposición al riesgo, pueden verse en la Tabla N° 6 sobre

criterios de tolerancia de riesgos cualitativos y de acuerdo con ello, el investigador refiere que nivel de riesgo asociado con la investigación, es bajo, expresado en color verde.

Tabla N° 6. Criterios de tolerancia de riesgos cualitativos

Fuente: Norma PDVSA SI-S-19.

Marco Epistemológico

El presente trabajo de investigación ha sido desarrollado como una investigación de tipo explicativa, que según Hernández R. y Cols. ⁽⁵⁶⁾, está dirigida a responder a las causas de los eventos físicos o sociales y se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da este. En este caso, la investigación pretende explicar una propuesta de reuso y aprovechamiento de un desecho con potencial recuperable.

Igualmente la investigación es de tipo cuantitativa, y según Zacarías (2000) ⁽⁵⁷⁾, permite recoger, procesar y analizar datos cuantitativos o numéricos, mostrando sus características de forma organizada. En tal sentido, la investigación maneja información relacionada con valores numéricos reflejados en resultados reportados por laboratorios y otros especificados en la legislación ambiental nacional.

El estilo de la investigación es descriptivo, y según la referida fuente anterior, una investigación se considera así, cuando “Mide o evalúa diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar”. De este modo, la presente investigación argumenta los motivos esenciales para la solución de la problemática, que se centra en la disposición oportuna de un desecho que afecta a la comunidad cercana al área de influencia de la Refinería El Palito y a sus propios trabajadores.

La investigación describe y explica el fenómeno en estudio y pretende dar solución considerando varios aspectos entrelazados como lo son la necesidad de disposición de los desechos industriales, el desalojo de áreas y espacios en las instalaciones de la refinería, el oportuno manejo de los desechos, asegurar que éstos no se dispersen por el aire y atenten contra la calidad de vida de la comunidad y los trabajadores, así como el cumplimiento del marco jurídico ambiental.

El objetivo de la investigación es comprensivo y explicativo, buscando describir qué es lo que ocurre con el manejo de los desechos y cómo ello afecta o repercute en la salud de los trabajadores del área operativa y de la comunidad próxima al área de influencia de la Refinería El Palito, con un estilo descriptivo y argumentativo, alineado al método de la investigación-acción que según Martínez ⁽⁵⁸⁾, está determinada por la naturaleza del objeto o fenómeno, involucrando al investigador y a la comunidad para acercarlos a la realidad del objeto de estudio.

Así mismo, según Méndez ⁽⁵⁹⁾, se debe ampliar el conocimiento de la realidad, para entender los diversos enfoques que derivan del hecho de asumir que la complementariedad nos permitirá integrar la realidad como una suma de criterios, puntos de vista y enfoques que darán un aporte mayor al conocimiento.

Capítulo III: Metodología

Procedimiento de la Investigación

La investigación se sustenta en la delimitación de cinco (5) fases consecutivas, descritas a continuación.

Fase I: Describir el proceso productivo de la unidad de planta de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) de la Refinería El Palito, que se constituye como una fuente generadora de desechos no peligrosos recuperables.

Esta fase consiste en la identificación del proceso productivo de refinación que genera tales desechos industriales, los cuales en su génesis funcionan como un catalizador que propicia la reacción química en la unidad. Para ello se recurrió a la consulta bibliográfica de documentación, manuales y procedimientos operacionales de procesos de refinación petrolera.

Fase II: Describir las generalidades y características asociadas a los finos de catalizador gastado de FCC como un desecho no peligroso, de alta tasa de generación dentro de la REP y con potencial recuperable.

Esta fase consiste en la identificación las tasas de generación del catalizador de FCC, las reacciones químicas que propicia y su mecanismo de reacción dentro de la unidad de proceso. Se recurrió a la consulta documental en manuales de descripción de procesos operativos de FCC, al igual que se ha consultado información en los registros de inventarios de desechos compilados por la Gerencia de Ambiente de Refinería El Palito. Así mismo, se realizó la consulta operacional de personal de la planta industrial para el suministro de datos de operatividad de la unidad de FCC.

Fase III: Diagnosticar la situación de operatividad del precipitador electrostático (PE) como dispositivo de recolección de partículas de finos de catalizador gastado de FCC.

Esta fase se llevó a cabo mediante la identificación de los antecedentes de operatividad del Precipitador Electrostático, definir las actividades críticas de ejecución, identificar las desviaciones en el alcance de la obra de puesta en servicio del equipo y finalmente identificar las actividades pendientes por ejecución para su adecuada operatividad. La consulta de la información se realizó a través de documentación de funcionamiento del precipitador electrostático (Manual operativo, documentación técnica, informe de inspecciones al equipo, presentaciones visuales interactivas), así como en la participación de reuniones semanales con el equipo multidisciplinario de la unidad de FCC, donde constantemente se ha discutido lo relacionado a la operatividad y puesta en servicio del equipo, sus retrasos y puntos críticos para su debida funcionalidad.

Fase IV: Determinar la factibilidad de reuso del catalizador gastado de FCC, mediante caracterización de peligrosidad como requisito indispensable y requerido por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente para aprovechamiento de desechos, así como en pruebas y ensayos industriales realizados en empresas alfareras.

Esta fase se llevó a cabo mediante la realización de las siguientes actividades, asociadas de intercambio mutuo entre PDVSA y las empresas alfareras:

- Verificación documental de antecedentes de reuso y aprovechamiento industrial del desecho, en diversos sectores productivos, para el establecimiento del argumento que justifique la alternativa de aprovechamiento y reuso de los finos de catalizador gastado de FCC dentro del sector alfarero.
- Enlace con las empresas alfareras localizadas dentro del Distrito Social El Palito, para el planteamiento de la propuesta del reuso de éstos desechos industriales dentro de su sector productivo, como sustitutos de parte de las materias primas originales y usadas en su proceso productivo.
- Solicitud a cada empresa contactada de los resultados obtenidos sobre la factibilidad de su aprovechamiento dentro de su proceso productivo.
- Verificación de los requisitos ambientales respectivos (Registro de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente) que exige el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente a empresas que pudiesen constituirse en manejadores de desechos industriales recuperables.
- Consulta de caracterización físico-química para determinación de peligrosidad, según parámetros referidos en el Decreto N° 2.635, realizado por un laboratorio certificado por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

Fase V: Identificar el reuso y aprovechamiento de los finos de catalizador gastado de FCC como una opción que dentro de la política de manejo de desechos en Refinería El Palito, permita minimizar los riesgos ambientales asociados.

Esta fase se llevó a cabo mediante la realización de las siguientes actividades:

- Consulta del marco jurídico ambiental relacionado al manejo de los desechos industriales y su debida disposición final. Revisión de la Constitución Nacional, Ley Orgánica del Ambiente, Decreto N° 2.216 y Decreto N° 2635.
- Descripción de las posibles afectaciones en el ambiente y la salud como consecuencia de la generación de los finos de catalizador gastado de FCC, constituyéndose como una situación de riesgo ambiental.
- Identificación de la propuesta de reuso de los finos de FCC en el sector alfarero, dentro de las mejores prácticas operativas para el manejo de estos desechos. La investigación propone los argumentos para disponer el desecho de forma segura, a través del mecanismo de su reutilización.

Propuesta de reuso de finos de catalizador gastado de FCC

La propuesta de reuso de los finos de catalizador gastado de FCC se centra en aprovecharlos dentro del proceso productivo del sector alfarero, a través de la mezcla más idónea con materias primas alfareras ricas en elementos térreos.

Esta mezcla idónea estará en función de las pruebas y ensayos industriales que permitan determinar si es factible o no el aprovechamiento del material, que de acuerdo con sus características es rico en sílice y alúmina, constituyéndose en componentes aprovechables para el sector alfarero.

Conocido el grado de peligrosidad de los finos de catalizador gastado de FCC y sabiendo las implicaciones en su manipulación, será posible determinar las medidas respectivas para reducir riesgos ambientales asociados

Los finos de catalizador gastado de FCC, que se consideran aprovechables y objeto de estudio de la investigación son aquellos que se han venido precipitando en la tolva asociada al precipitador electrostático que actualmente se encuentra inoperante, y estando almacenados en grandes volúmenes en áreas autorizadas y otras improvisadas.

También es importante considerar que aquellos finos que se esparcen a razón de 3, 5 toneladas diarias por la chimenea de FCC, pudiesen recuperarse, al entrar en operatividad el precipitador, quien dirigiría estas partículas hacia la tolva respectiva, y esta condición permitirá aumentar en grandes proporciones los volúmenes actuales de desechos almacenados, por lo que demandaría con mayor premura, el reuso del desecho, como un mecanismo para su disposición.

Los riesgos ambientales asociados son mayores cuando los finos de FCC se escapan por la referida chimenea y se esparcen por el aire, sin embargo, el fino de catalizador que se precipita y se recoge en tolvas, también representa una condición de riesgo en su manipulación dado su fina granulometría (de 5 a 20 μ m) y por lo tanto el mismo es envasado adecuadamente, pero sin embargo por eventualidades y condiciones operacionales, ha tenido que ser almacenado temporalmente a granel en espacios al aire libre, donde los riesgos ambientales por contaminación del suelo, agua y vegetación, están presentes.

Con el posible reuso del desecho; se disminuyen los inventarios de almacenamiento; se ahorra en recursos financieros que serian destinados para su disposición final, como se ha realizado en muchas oportunidades; se disminuyen los riesgos ambientales asociados a su almacenamiento temporal, se logra una mejor gestión en la corriente diaria de desechos y se cumple con la política ambiental de PDVSA.

Metodología utilizada para caracterización de peligrosidad

Esta sección describe el método de captación de muestras de finos de catalizador gastado de FCC, enviadas a Hidrolab Toro Consultores e INTEVEP para su caracterización de peligrosidad, cuyos resultados serán referidos en el Capítulo V de la presente investigación.

En lo que respecta a la muestra analizada por Hidrolab Toro Consultores, se refiere que el método utilizado consistió en captar una muestra con su duplicado de cuatrocientos (400) gramos, a través de un muestreador Triers de acero inoxidable, en un período de diez (10) minutos (Captada entre 2:30 p.m. a 2:40 p.m.). El material se encontraba en estado sólido (Polvillo de color blanco), conocido como finos de catalizador gastado de FCC.

La muestra captada resultó ser compuesta y totalmente representativa del universo total, dado que se programó captar dieciséis (16) sub-muestras del lote para formar una mezcla de aproximadamente 800g. De igual forma, se captó una muestra testigo que se colocó en envases plásticos de un (1) Kg. que se rotularon, preservaron y almacenaron en frío, para el análisis de la presencia de compuestos aromáticos policíclicos a través de cromatografía.

Por otra parte, se aprovechó la oportunidad captación de muestras con el laboratorio Hidrolab Toro Consultores, y el mismo número de muestras antes referidas fueron enviadas a INTEVEP para la determinación de la respectiva caracterización de peligrosidad.

Para ambos casos, las muestras fueron analizadas en concordancia con lo establecido en las normas EPA (*Environmental Protection Agency* o Agencia de Protección Ambiental), Standard Methods, ASTM (*American Society for Testing and Materials* o Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) y Norma Internacional ISO/IEC 17025:2005 (*Internacional Organization of Standardization- International Electrotechnical Commission/ General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*), analizando al menos el 10% de las muestras por duplicado. Así mismo, se siguieron las especificaciones indicadas en la norma PDVSA N° MA-01-02-05, sobre el Manejo Integral de Catalizadores Gastados.

La metodología usada para los análisis físico-químico de la muestra captada, se ajusta la normativa internacional antes referida, bajo la cual, la normativa PDVSA se rige igualmente, y proviene del *Test Methods for Evaluating Solid Waste*. Volumen IA, IB e IC. U.S.E.P.A. (*United States Environmental Protection Agency* o Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) SW-846. (1986), haciendo uso del respectivo equipo de protección personal que recomienda PDVSA en sus instalaciones operacionales (Casco, lentes, tapa-oidos, botas de seguridad, braga manga larga, guantes de neopreno y mascarilla con cartucho para material particulado), de acuerdo con la política de Higiene Ocupacional y Seguridad Industrial.

La interpretación de los resultados se efectuó en concordancia con los valores reglamentados en el Decreto N° 2.635 “Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos” y con la normativa internacional referida.

Metodología utilizada para entrega de muestras a empresas alfareras

Esta sección refiere el método de captación de muestras de finos de catalizador gastado de FCC, enviadas a las empresas alfareras para su factible aprovechamiento, cuyos resultados serán referidos en el Capítulo V de la presente investigación.

A cada empresa contactada le fue suministrado un protocolo de entrega de muestra, el cual describe el tipo de muestra suministrada, plantea la propuesta de reuso y aprovechamiento del desecho y evidencia el registro que indica la condición del desecho como no peligroso. (Ver ejemplo, en Anexo D). Es importante referir que las

muestras enviadas a las empresas alfareras, se corresponden con el mismo lote de tambores de desechos contentivos de finos de catalizador gastado de FCC para los que se extrajeron muestras enviadas a Hidrolab Toro Consultores e INTEVEP.

Las empresas ubicadas dentro de la población objeto de estudio de la presente investigación, se detallan a continuación.

Tabla N° 7. Empresas ubicadas dentro de la población en estudio de la investigación.

Fuente: El autor (2012).

Tabla N° 8. Empresas ubicadas en las cercanías de la población en estudio de la investigación.

Fuente: El autor (2012).

Capítulo IV: resultados

Presentación de Resultados

Caracterización físico-química de Finos de catalizador tipo zeolita provenientes del proceso de craqueo catalítico fluidizado FCC. Hidrolab Toro Consultores (2009).

De acuerdo con Hidrolab Toro Consultores C.A. (2009) ⁽⁶⁰⁾, se realizó muestreo en las instalaciones de la Refinería El Palito, específicamente en el Antiguo Relleno Sanitario del Área Sur, el día 29 de abril de 2009. El lugar se encuentra a cielo abierto y la muestra se obtuvo como representativa de una cantidad de 500 toneladas de catalizador gastado de FCC (833 m³, asumiendo una densidad de 0,6 g/cm³), contenidas en 4.167 tambores metálicos (Asumiendo que cada tambor puede contener 0,12 toneladas).

En cuanto a dichos resultados obtenidos de la muestra captada de finos de catalizador tipo zeolita provenientes de la unidad de craqueo catalítico FCC, se refiere que en el análisis de fluoruros y cloruros, los cuales no se encuentran reglamentados en el Decreto N° 2.635, pero si en la normativa internacional, se obtuvieron concentraciones de 300mg/l y 100mg/l, respectivamente, estando por debajo del rango permitido.

Con respecto a las corridas cromatográficas realizadas en muestra real para los análisis de compuestos aromáticos policíclicos, se observaron valores inferiores a los reglamentados por la normativa internacional y por el Decreto N° 2.635, tal como se muestra en la siguiente Tabla N° 9.

Tabla N° 9. Compuestos aromáticos policíclicos. Caracterización físico-química de finos de catalizador gastado de FCC realizado por Hidrolab Toro Consultores 2009.

N.R : No Reglamentado

(1) Reglamentado Según Decreto N° 2.635, Anexo C de Gaceta Oficial N° 5.245

(2) Test Methods for the Evaluating Solid Waste Volumen IA, IB e IC de la U.S.E.P.A. año 1.996.

Límite de detección: 0,01 mg/l.

Fuente: Hidrolab Toro Consultores C.A. Análisis de laboratorio y caracterización finos de catalizador tipo zeolita del proceso de craqueo catalítico fluidizado FCC para la empresa PDVSA.(2009).

La tabla anterior resume que el análisis de los compuestos aromáticos, muestra valores inferiores a 0,01 mg/l en todos los parámetros referidos, sabiendo que su determinación no está reglamentada por el Decreto N° 2.635 (A excepción del naftaleno), pero estando reglamentado por la normativa Internacional.

Hidrolab Toro Consultores según los correspondientes análisis realizados y en concordancia con el Decreto N°. 2.635, refiere que la muestra captada de finos de catalizador gastado de FCCa resultado ser, no peligroso, lo cual permite según lo estipulado por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente para aprovechamiento de desechos, poder considerar el reuso del mismo.

Caracterización físico-química de Finos de catalizador tipo zeolita provenientes del proceso de craqueo catalítico fluidizado FCC. INTEVEP (2009).

Según la caracterización realizada por INTEVEP en el año 2009 ⁽⁶¹⁾, se describen los siguientes resultados reflejados en la Tabla N° 10.

Tabla N°10. Caracterización físico-química de finos de catalizador de FCC realizado por INTEVEP 2009.

N.R.: No Reglamentado; N.A.: No Aplica; N.D.: No Determinado; () Fuera del valor reglamentado; (1) Decreto N° 2635, Anexo C; (2) Decreto N° 2635, Anexo D.*

Fuente: INTEVEP 2009. Caracterización físico-química de finos de catalizador de FCC.

Según la tabla mostrada anteriormente y lo expuesto por Thomas (2009) ⁽⁶²⁾, éstos resultados se describen de la siguiente manera:

Los finos de catalizador, presentan una acidez de mayor consideración (pH= 4,75) debido a las características propias de estos catalizadores, siendo un valor considerado fuera del rango permitido por el Decreto N°2.635, que se corresponde entre 6 y 9.

En el caso de metales totales, se aprecia que la concentración de Cromo (62,3 ppm) en los finos de catalizador es mayor al máximo permitido de 50 ppm, que regula el Decreto N° 2.635 (Artículo N° 5 referenciado en el Anexo C). Por otra parte, el Cadmio (<2 ppm) y el Mercurio (<0,5 ppm) se hallan por debajo de lo permitido de 50 ppm, según el Decreto N.° 2.635. Además el Zinc (36,1 ppm) y el Plomo (23,7 ppm), se encuentran por debajo del valor máximo permitido correspondiente a 1.000 ppm, según el referido decreto; asimismo, el Bario, no estando reglamentado por el Decreto N° 2.635, registró un valor de 153,5 ppm.

Los análisis de metales en lixiviados muestran que el cadmio (<0,02 mg/l) está por debajo del máximo reglamentado que es de 1mg/l. Así mismo, el Cromo, Plomo y Plata (<0,05mg/l) reflejan valores inferiores al máximo permitido de 5mg/l. Esto le permite al desecho ser considerado como no peligroso en su contenido de metales en lixiviados.

Los anteriores parámetros evaluados por la caracterización realizada por INTEVEP que están por debajo del límite reglamentado por el Decreto N° 2.635, le otorgan al desecho la particularidad de ser considerado como un desecho aprovechable, evitando mecanismos de disposición final que pudiesen generar mayores costos operativos por PDVSA.

Empresas alfareras contactadas

De acuerdo con el objeto de estudio de la presente investigación primordialmente se seleccionó como población a las comunidades circunscritas dentro de los cuatro (4) Estados que integran el Distrito Social El Palito, dentro del

cual operan empresas alfareras.

Las empresas del sector alfarero que atendieron la propuesta de PDVSA para la recuperación y aprovechamiento de los finos de catalizador gastado de FCC, fueron básicamente cinco (5) y adicional a ello para ampliar el radio de acción, se seleccionaron dos (2) empresas vecinas al referido distrito social, para totalizar un global de siete (7) empresas, que sitúan dentro de la población objeto de estudio de la investigación, las cuales aceptaron la referida propuesta de aprovechamiento del desecho industrial recuperable.

Resultados de factibilidad de reuso de finos de catalizador gastado de FCC en empresas alfareras

A continuación se presentan los resultados de las pruebas de factibilidad técnica de reuso de los finos de catalizador gastado de FCC, emitidos por las empresas alfareras consultadas:

Alfarería A.C.U.S.A.

Los finos de catalizador gastado de FCC presentan una granulometría muy ligera, comportándose como una arena fina, que se desprende al contacto manual, la cual en el proceso de mixtura con otros minerales y materias primas no genera la consistencia suficiente como para formar una pasta capaz de garantizar una dureza aceptable que garantice criterios de calidad para el aprovechamiento del material.

Alfarería Unión

La muestra sometida al procesamiento en micro-escala industrial, es muy ligera y en su proceso de mezcla con arcilla y caolín no ha generado la resistencia mecánica que le otorgue una dureza de calidad al producto elaborado.

Alfarería 5J C.A.

De acuerdo con muestra enviada, se procedió a realizar a través de una suspensión con arcilla, una mezcla con mayor proporción de alúmina de FCC, dando como resultado grietas en los bloques, luego del proceso de cocido del material. Se ha considerado evaluar la proporción de las mezclas utilizadas.

Tejar Carabobo

El material enviado con composición de sílice y alúmina, presenta escorias que alteran la calidad del producto elaborado. Se cree que la presencia de escorias pudiese generar reacciones secundarias riesgosas que alteren la calidad del proceso y afecten a maquinarias y equipos.

Alfarería Hispano Venezolana (HISPAVEN)

De acuerdo con muestra enviada, la proporción de la mezcla lograda ha sido débil, impidiendo generar una consistencia suficiente para un producto elaborado de calidad. El producto elaborado (Tejas) presente poca resistencia en su manipulación.

Alfarería del Turbio S.A. (ALTUSA).

De acuerdo con la naturaleza operativa de la empresa, la muestra enviada no presenta utilidad ninguna por su granulometría, dado que la mezcla formada requiere de mayores aportes de materia prima como arcilla para poder generarse una dureza aceptable. Se fabrican tejas de arcilla para techo, que con la muestra enviada no pudiesen obtener productos finales resistentes.

Alfarería Araure C.A.(ALFARAURE)

Por razones operativas no esta al alcance la recuperación de finos de catalizador de FCC, como componente de alúmina debido a la inconsistencia en mezcla obtenida. Los productos elaborados por la empresa son tablillas, tejas, ladrillos adoquines y losetas, para lo cual, la muestra enviada no genera resistencia aceptable a la cocción.

Además de todo lo expuesto, y considerando que fuese factible o no el aprovechamiento de los finos de FCC, las referidas empresas alfareras no poseen la permisología correspondiente o Registro de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente (RASDA), razón por la cual, legalmente, no pueden constituirse en manejadores y/o generadores de desechos peligrosos, tal como lo exige el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y el marco jurídico regulatorio. En tales condiciones, PDVSA no pudiese canalizar las gestiones legales para el otorgamiento de los finos de catalizador de FCC como un desecho recuperable a las referidas empresas del sector alfarero.

Capítulo V: conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Hidrolab Toro Consultores, en su caracterización físico-química realizada en 2009, determinó que los finos de catalizador gastado de FCC, no son peligrosos, de acuerdo con análisis de fluoruros y cloruros, así como a las corridas cromatográficas realizadas en muestra real para los análisis de compuestos aromáticos policíclicos, según lo establecido en el Decreto N° 2.635 y en la normativa internacional.

INTEVEP en 2009, en su caracterización físico-química realizada, determinó que los finos de catalizador gastado de FCC, no son peligrosos, de acuerdo con análisis de metales en lixiviados y análisis de metales en muestra real (Exceptuando al cromo), según lo establecido en el Decreto N° 2.635.

Las empresas alfareras consultadas no pueden aprovechar y/o reusar los finos de catalizador gastado de FCC, debido a afirmaciones como las siguientes: no generan dureza aceptable, la calidad del producto final se ve alterada por impurezas que alteran visualmente el aspecto estético de las piezas elaboradas o pueden generar reacciones químicas secundarias en los procesos industriales por la presencia de escorias, lo que constituye una situación riesgosa para su incorporación porque ello podría implicar afectaciones en lo relativo a problemas operacionales en maquinarias y equipos

Las empresas alfareras consultadas para el aprovechamiento de los finos de FCC, no poseen RASDA o Registro de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente como manejadores de materiales y desechos, como documentación indispensable para el manejo de desechos industriales, que exige el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

El riesgo ambiental y a la salud humana asociado a los finos de catalizador gastado no está en función de su manipulación por contacto directo, sino mas bien viene por su capacidad de esparcimiento por el aire debido a su fina granulometría (5 a 20 micrones ?m), siendo esto una condición que puede controlarse usando el equipo de protección personal adecuado.

El riesgo ambiental asociado a la capacidad de libre esparcimiento por el aire de finos de catalizador de FCC, usando la PDVSA SI-S-19, en su anexo C: “Matriz cualitativa para calificar el riesgo de la desviación”, es bajo.

En el marco de la independencia tecnológica que impulsa el gobierno bolivariano, el hecho de que la investigación argumente no poder utilizar los finos de catalizador gastado de FCC para su reuso en el sector alfarero, deja un antecedente evidente que permitirá a la corporación PDVSA, evaluar otras opciones de reuso y recuperación del desecho tanto para la Refinería El Palito como para el circuito nacional de refinación.

Recomendaciones

Deben acondicionarse las áreas autorizadas por la Gerencia de Ambiente para el almacenamiento de desechos industriales en la refinería, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Adecuación Ambiental entregado al Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

Debe actualizarse en campo, el inventario de desechos de finos de catalizador gastado de FCC, para distinguir los relacionados a pasivos ambientales y lo relacionado a la gestión actual de generación de desechos.

Establecer los mecanismos y estrategias tendientes a que los finos de catalizador gastado de FCC puedan ser desincorporados o dispuestos por la misma empresa que suministra el catalizador nuevo a Refinería El Palito.

Visualizar la posibilidad de disponer los finos de catalizador gastado de FCC en empresas internacionales que puedan recuperar la alúmina de éste desecho o simplemente puedan darle disposición final al mismo, siguiendo lo establecido en el Convenio de Basilea sobre el “Control de movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación”; esto podrá concebirse, una vez agotadas las posibles opciones en empresas ubicadas en el territorio nacional.

La Gerencia de Ambiente de Refinería El Palito, debe solicitar formalmente al custodio del área de FCC la activación y puesta en funcionamiento oportuno del Precipitador Electrostático M-6143, para disminuir las tasas de generación de finos por la Chimena B-6102, acompañado de gases de combustión y otros gases como NOx y SOX.

En caso de no considerarse la posibilidad de reuso de los finos de catalizador gastado de FCC de la Refinería El Palito, realizar las gestiones ante el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, para de acuerdo con la revisión del marco jurídico ambiental, y según previa caracterización del desecho donde se evidencie ser no peligroso, poder disponer este desecho a granel en fosas, sin ser envasados, en espacios bien sea dentro de las instalaciones de refinería o en vertederos o rellenos sanitarios cercanos (Considerando como primera opción al Relleno Sanitario La Paragüita), debidamente permitidos por la autoridad ambiental nacional.

Realizar un inventario de la totalidad de empresas alfareras (Bien sean artesanales e industriales) localizadas no solo en el área del Distrito Social El Palito, sino en el resto del país, para verificar cuáles de ellas poseen RASDA (Registro de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente) como condición expedida y exigida por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente) para poder ser consideradas como oportunas para la propuesta de reuso de los finos de catalizador gastado de FCC, constituyéndose, tal como lo refiere el Decreto N° 2.635, en manejadores de desechos peligrosos.

Cualquiera que sea la opción de recuperación y manejo de los finos de catalizador gastado de FCC y al no poseer un registro científico que demuestre implicaciones ambientales y de salud asociadas a la manipulación y contacto directo con éste desecho, se deberá usar siempre una mascarilla de protección respiratoria contra polvo de sílice o alúmina, al manipularlos.

Dedicar mayor tiempo a la determinación de factibilidad técnica de aprovechamiento del desecho en la totalidad de las empresas alfareras del país, para tener un registro más amplio en la investigación.

Referencias bibliográficas

1. **Decreto N° 2.635. Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos.** Gaceta Oficial N° 5.245 Extraordinario del 3 de agosto de 1998.
2. **Manejo y Disposición de Desechos.** Procedimiento RFEP-0004. (2004). Gerencia SHA (Seguridad Higiene

- y Ambiente). Asuntos ambientales. PDVSA-Refinería El Palito.
3. **Situación Almacenamiento de Desechos en la REP.** (2004).Informe. Superintendencia de Seguridad Higiene y Ambiente.PDVSA- Refinería El Palito.
 4. **Situación Almacenamiento de Desechos en la REP.** (2005).Informe. Superintendencia de Seguridad Higiene y Ambiente.PDVSA- Refinería El Palito.
 5. Ramos, A (2004). **Manejo de materiales no peligrosos, materiales y sustancias peligrosas y desechos peligrosos.** Informe. Superintendencia de Seguridad Higiene y Ambiente.PDVSA- Refinería El Palito.
 6. **Decreto N° 2.216. Normas para el manejo de los desechos sólidos de origen doméstico, comercial, industrial, o de cualquier otra naturaleza que no sean peligrosos.**Gaceta Oficial Extraordinario N° 4.418del 27 de abril de 1992.
 7. **PDVSA. (2009). Descripción General del Proceso, Operación y Control de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) la Refinería El Palito.** Disponible en: Superintendencia Ingeniería de Procesos.
 8. Ambioconsult C.A. (1995). **Informe Final de Evaluación de emisiones atmosféricas de la Unidad de FCC, Refinería El Palito.**
 9. Gómez L. (2004).**Plan de trabajo para evaluar factibilidad de reuso de materiales recuperables.** Plan de Adecuación a la Norma N° 2.635. PDVSA-Refinería El Palito.
 10. **Constitución de la República Bolivariana de Venezuela** (1999). Publicada en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5.453 de la República Bolivariana de Venezuela. Caracas, viernes 24 de marzo de 2000
 11. **Ley Orgánica del Ambiente.** Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 31.004 del 16 de junio de 1976.
 12. **Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos.** Gaceta Oficial dela República Bolivariana de Venezuela.N° 5.554 Extraordinario del 13 de noviembre de 2001.
 13. Lewin, Kurt (1946). **Acción research and minority problems.** *Journal of Social Issues* 2 (4): 34-46.
 14. Espinoza, E. (2008). **¿Cómo Investigar la Realidad para Transformarla?, Superando la Conciencia Ingenua.** Trabajo No publicado. Trabajo presentado para optar al escalafón de Profesor Asistente en la Universidad Bolivariana de Venezuela.
 15. CORPOVEN. **Disposición de Catalizador de FCC.** (1991). Superintendencia de Asuntos Ambientales. (Memorando). Numero AA-91-007.
 16. Corporación y Desarrollos Industriales 1814, C.A. (1996). **Estudio de factibilidad técnica para la recuperación de metales de desechos de Refinería El Palito.** Contrato N° 10-05-2020-97-517.
 17. Salazar, M. (2009). **Producción Industrial de alúminas. Refinado Ideas: Boletín Refinación e Industrialización.**N° 12/01-2009.
 18. PDVSA.(1998). **Evaluación de opciones de disposición del catalizador de FCC y alúmina gastada de Alquilación,** (Nota Técnica)
 19. Hidrolab Toro Consultores C.A. (2004). **Caracterización deFinos de CatalizadorUnidad FCC de Refinería El Palito.** Registrado en el MARN N° 02-038.
 20. CAURAC.A. **Manual de ManejoIntegral de Desechos:** Escenario a 20 años. (1990). PDVSA-REP
 21. **PDVSA.** (1991-1993).Ingeniería de Detalle GDM e infraestructura básica (clausura del relleno zona sur, construcción de galpones de desechos y saneamiento de áreas Q y de Chatarra.
 22. **PDVSA.** Pruebas de reuso/reciclaje de catalizador de FCC (pellas laterita ferruginosa y manejo de finos en industria cementera y calcinación, además de su mezcla en la industria cerámica).(1993-1998).
 23. **PDVSA.** Pruebas de reuso/reciclaje de alúmina de Alquilación en celdas electrolíticas para procesar aluminio.
 24. **PDVSA.** Factibilidad Técnica Manejo de Desechos Refinería. (1997-1998).(REP/INTEVEP/RUST),
 25. Di Yorio C.(1995). **Incorporación de desechos aluminicos (catalizadores) provenientes de refinerías del país en la fabricación de pellas lateríticas para uso en plantas de cemento.** (Memorando) Escuela de Metalurgia y Ciencia de los Materiales.Universidad Central de Venezuela.
 26. Lobo, J. (2006). **Pruebas de factibilidad de reuso de finos de catalizador de la unidad de craqueo catalítico fluidizado (FCC) de la Refinería El Palito-Estado Carabobo.**Trabajo de Grado. Universidad Gran

Mariscal de Ayacucho.

27. Velásquez, S. (2001). *Aplicaciones del catalizador de craqueo catalítico usado (FCC) en la preparación de conglomerantes hidráulicos*. Estudio de sus propiedades puzolánicas. Universidad: Politécnica de Valencia-España. (Disponible en: . [Consulta: Noviembre 3, 2009].
28. Sánchez, E. (1994). *Aprovechamiento del catalizador usado de FCC de Refinerías*. Universitat Jaume I de Castelló. Catellón-España.
29. **PDVSA. Introducción a los Procesos de Refinación**. (2005).Manual de Refinación. PDVSA-Refinería El Palito.
30. MoraK. (2008). *Caracterización de catalizadores: una necesidad en Refinación. Refinado Ideas: Boletín Refinación e Industrialización*. N° 11/12-2008.
31. Sema P. (2001). *Disposición de materiales sólidos recuperables y no peligrosos producidos por la Refinería El Palito*.Universidad Simón Bolívar. Informe de pasantía.
32. **PDVSA. Inventario de desechos sólidos recuperables no peligrosos de la Refinería El Palito**. (2001). PDVSA. Gerencia de Seguridad Higiene y Ambiente.
33. Berger B. y Anderson K.(1992). *Petróleo Moderno, un Manual Básico de la Industria*. Tercera Edición. Pennwell Editorial: Oklahoma- EE.UU.
34. DAU Metal Venezuela. PERIL 2009. *Manejo de catalizadores gastado de molibdeno y vanadio*.
35. Actividades Ambientales Atmosféricas (3A). (1995). *Emisiones a la atmósfera por la chimenea de FCC de la Refinería El Palito de CORPOVEN*.
36. **PDVSA (1997). Especificaciones de diseño del Precipitador electrostático. Protección Industrial**.
37. Decreto N° 638 *Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica*. Gaceta Oficial N° 4.899 Extraordinario del 19 de mayo de 1995
38. Berroterán, M (2002). *Propuesta de un sistema para el manejo de finos de catalizador en la unidad de craqueo catalítico fluidizado de la Refinería El Palito*. Universidad de Carabobo. Trabajo de Grado.
39. EnvironmentalAcacia Assessments C.A. (2008). *Estudio de calidad del aire en el área de influencia de la Refinería El Palito ubicada en el Municipio Puerto Cabello, Estado Carabobo*.
40. Hidrolab Toro Consultores. (2011). *Estudio de calidad del aire en el área de influencia de la Refinería El Palito ubicada en el Municipio Puerto Cabello, Estado Carabobo*.
41. **4PDVSA. Fundamentos de Protección Ambiental en Operaciones de Refinación y Petroquímica: Taller de Manejo de Desechos sólidos**. (1991). Modulo 4.Manual del participante.
42. **PDVSA. Manejo Integral de Catalizadores Gastados (2008). N° MA-01-02-05. Manual de Ambiente**. Volumen I.
43. **PDVSA. HO-H-18 “Programa de Protección Respiratoria”**. (2007).
44. Urzúa, C. (2003). *El material particulado*. 7a. Conferencia ETH en Combustión Generadora de Nanopartículas, Zurich-Suiza. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.zonahospitalaria.com> [Consulta: Diciembre 12, 2009].
45. Quijano, A. y Orozco J (2005). *Monitoreo de material particulado-fracción respirable (pm 2.5) en Pamplona (Colombia)*.Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, ISSN 0120-4211, Vol. 3, N°2. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2483109>
46. Santamaría, M. (2008). *Efectos del material particulado en la salud. Departamento de Química y Edafología de la Universidad de Navarra-España*. Revista N° 10.Sumario zh10. Disponible en: . [Consulta: Diciembre 10, 2009].
47. ARPEL. (2008). *Guía para el Manejo de residuos sólidos de refinerías de petróleo. Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe*.
48. Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2009. Documento Multimedia. © 1997-2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
49. García E. y Suárez M. (2009). *Las arcillas: propiedades y usos*. Universidad Complutense de Madrid- Universidad de Salamanca. [Documento en Línea]. Disponible en: <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm>. [Consulta: Octubre 15, 2009].
50. [Documento en Línea]. Disponible en: , 24, m, 1455&r=ReP-1760-DETALLE_REPORTAJESABUELOn

civil. [Consulta: Noviembre 2, 2009].

51. TECSULT- PDVSA. (2002). *Monitoreo de Calidad del Aire*.
52. Gutiérrez, J. (2011). *Informe Preliminar Reactivación del Precipitador Electrostático M-6143 de la Unidad de FCC*. PDVSA-Refinería El Palito, Estado Carabobo
53. Confederación Empresarial de la Provincia de Alicante (COEPA). (2007). *El Riesgo Ambiental: Guía de la Gerencia de Riesgos Ambientales*. Valencia-España.
54. PDVSA IR-S-00. *Manual de Ingeniería de Riesgos, Volumen I: Definiciones*.
55. PDVSA SI-S-19. *Manual de Seguridad Industrial, Volumen I: Gestión y Control de Desviaciones*.
56. Hernández R; Fernández C. y Baptista P. (2006). *Metodología de La investigación*. Cuarta Edición: Caracas-Venezuela.
57. Zacarías, E. (2000). *Así se Investiga, Pasos para hacer una Investigación*. Clásicos Roxsil. El Salvador.
58. Martínez, M. (1996). *Comportamiento Humano: Nuevos Métodos de Investigación*. 2ª edición. México: Editorial Trillas.
59. Méndez, M. (2008), *Evaluación del nivel de exposición a vapores orgánicos del personal de una refinería del centro del país*. Trabajo de Grado. Universidad Bolivariana de Venezuela. Programa Especial de Formación de Higienistas Ocupacionales.
60. Hidrolab Toro Consultores C.A. *Análisis de laboratorio y caracterización finos de catalizador tipo zeolita del proceso de craqueo catalítico fluidizado FCC para la empresa PDVSA*. (Refinería El Palito). (2009).
61. INTEVEP (2009). *Caracterización físico-química de finos de catalizador de FCC*. PDVSA.
62. Thomas, R. (2009). *Factibilidad de instalación de un incinerador de desechos y materiales peligrosos (sólidos y líquidos) en la REP*. Trabajo de Grado. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda.

Anexos

Anexo A.- Distrito Social El Palito

Fuente: Gerencia de Desarrollo Social de Refinería El Palito (2012)

El Distrito Social El Palito comprende una población de aproximadamente de 1.857.294 habitantes (Según cifras del Instituto Nacional de Estadística del año 2009) en los 21 municipios ubicados en los estados Aragua, Carabobo, Falcón y Yaracuy, siendo la distribución de la siguiente manera:

Estado Aragua: Municipios Bolívar, Girardot, Mario Briceño Iragorry, Ocumare de la Costa y Santiago Mariño.

Estado Carabobo: Diego Ibarra, Guacara, Juan José Mora, Naguanagua, Puerto Cabello, San Diego, San Joaquín.

Estado Falcón: Acosta, Cacique Manaure, Monseñor Iturriza, Palma Sola, San Francisco y Silva.

Estado Yaracuy: Manuel Monge, San Felipe y Veroes.

Anexo B.- Diseño de un precipitador electrostático modelo.

Fuente: <http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Atmosfera/PrecipitadorElectrostatico.htm>).

El precipitador electrostático es un dispositivo utilizado para la descontaminación del aire que utiliza las fuerzas eléctricas para la remoción de la fracción sólida de una emisión atmosférica, dirigiendo las partículas hacia las placas del colector. Las partículas se cargan mediante el choque con iones gaseosos creados por la ionización del aire creado entre los electrodos, tras la carga las partículas siguen las líneas de campo producidas por el alto voltaje

hasta la superficie del electrodo colector. Las partículas deben ser eliminadas de las placas y recolectadas en una tolva, evitando que se reencaucen en la corriente gaseosa.

La eficiencia de remoción de un precipitador electrostático, es muy variable y solo para partículas muy pequeñas, la eficiencia de remoción es de aproximadamente 99%. Su invención se atribuye al Dr. Frederick G. Cottrell en el año 1.907. (Disponible en: <http://www.mitecnologico.com/Main/PrecipitadoresElectrostaticos>).

Fuente: .

Anexo C.- Hoja de Seguridad del catalizador de FCC

Esta Hoja de Seguridad muestra las características fisicoquímicas del catalizador de FCC su manejo y sus implicaciones a la salud y al ambiente. Los datos reportados son los que la empresa Basf-Engelhard en calidad de proveedor suministra a su cliente PDVSA, siendo las especificaciones de un catalizador nuevo, que inicialmente se constituye en insumo para el proceso industrial de FCC y que luego en su uso, será convertido en polvo fino. Su disponibilidad solo está en versión al idioma inglés.

Anexo D.- Modelo de protocolo de entrega de muestra de fino de FCC a empresas alfareras

A continuación se evidencia el protocolo de entrega de muestra de finos de FCC a las siete (7) empresas contactadas, estando constituido por cuatro (4) hojas contentivas de la siguiente información:

- Entrega de muestra (a)
- Propuesta de reuso y aprovechamiento (b, c)
- Reporte de análisis de laboratorio/Interpretación de resultados y conclusiones (d): Realizado por Hidrolab Toro Consultores en 2009 y muestra la caracterización físico química realizada a las muestras enviadas a las empresas alfareras.

Las imágenes y tablas de esta tesis se pueden [consultar en el documento original](#) (formato .zip).