

# Reuso de finos de catalizador gastado de FCC: metodología

by Jesús Antonio Lobo García - Friday, November 11, 2016

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



## Índice general

- [Resumen](#)
- [Abstract](#)
- [Introducción](#)
- Capítulo I: [El problema](#)
- Capítulo II: [Marco teórico](#)
- **Capítulo III: Marco metodológico**
- Capítulo IV: [Presentación y discusión de resultados](#)
- Capítulo V: [Conclusiones, recomendaciones y bibliografía](#)

## Capítulo III: marco metodológico

### 3.1 Tipo de investigación

La investigación de acuerdo con su nivel se caracteriza por ser de tipo descriptiva y según Sampieri et al (1991), busca especificar las propiedades de un fenómeno sometido a análisis, evaluando diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar, seleccionando una serie de aspectos y se mide cada uno de ellos independientemente, para describir lo que se investiga. Un estudio descriptivo busca medir con la mayor precisión posible un fenómeno y el investigador debe ser capaz de definir qué se va a medir y cómo se va a lograr la precisión en esta medición.

De acuerdo con lo anterior, la investigación descriptiva en este contexto, busca determinar la proporción más adecuada entre los agregados de la mezcla para la obtención de un friso de óptima calidad sin implicaciones perjudiciales al ambiente, para en definitiva lograr el reuso del catalizador gastado de FCC.

## **3.2 Diseño de la investigación**

La investigación posee un diseño de campo, donde los datos se obtienen directamente de la realidad a través de la acción del investigador. De acuerdo con esto, la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2001), refiere que la investigación de campo es:

El análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios, (p.5)

De acuerdo con lo referido anteriormente, la investigación según su naturaleza sigue un diseño experimental, que según Hernández et al (2006), consiste en la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento en particular.

Se trata de un experimento porque precisamente el investigador provoca una situación para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esa variable, y su efecto en las conductas observadas. El investigador maneja deliberadamente la variable experimental y luego observa lo que sucede en situaciones controladas.

De acuerdo con lo anterior, se asume que el catalizador gastado de FCC como desecho industrial será sometido a análisis para determinar la mejor proporción de mezcla con otros agregados como el cemento y la arena, para la obtención de un friso en mampostería de buena calidad y que su utilización no represente un riesgo al ambiente.

## **3.3 Población y muestra**

### **3.3.1 Población**

De acuerdo con Levin y Rubin (1996), una población es "un conjunto de todos los elementos que estamos estudiando, acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones".

En este sentido se considera como población a los finos de catalizador gastado de FCC generado en la Refinería El Palito de PDVSA que se encuentra en las respectivas áreas autorizadas de almacenamiento. Este catalizador posee las mismas características y composición físico-química respectiva dado que proviene de una única planta industrial que lo genera, siendo una mezcla de naturaleza homogénea.

Las cantidades consideradas como población se corresponden a 550 toneladas de finos de catalizador gastado de FCC (647,6mB) contenidas en 4.583 tambores, almacenadas como inventario.

### **3.3.2 Muestra**

De acuerdo con Spiegel (1991), "se llama muestra a una parte de la población a estudiar que sirve para representarla". Retomando esta consideración, y de acuerdo con la naturaleza de la investigación centrada en determinar la proporción de mezcla en que el catalizador gastado de FCC junto con otros componentes como el cemento, la arena y el agua, puede ser reusado para la selección de la muestra sujeta a estudio; se utilizó el criterio establecido en la norma PDVSA MA 02-01-05 "Manejo Integral de Catalizadores Gastados" de realizar un muestreo aleatorio, donde el número mínimo de muestras es definido por la siguiente ecuación (ASTM D-140): (3VN<sup>o</sup> Envases).

De acuerdo con lo anterior y asumiendo que la población representa 4.583 tambores de catalizador gastado de FCC (550 ton = 647,6 m<sup>3</sup>), se indica que el número de tambores seccionados fue de 17 (2,04 ton = 2,40 m<sup>3</sup>), como se ve a continuación: 3VN<sup>o</sup> 4.583 envases = 16,61 = 17 envases o tambores.

De la totalidad de tambores seleccionados para obtener las muestras de catalizador gastado de FCC, se extrajo una cantidad de 2,59 Kg. aproximadamente por cada tambor, para conformar una totalidad de 44 kg. de catalizador gastado de FCC considerado como la muestra de estudio de la investigación. Esta cantidad de 44kg del desecho fue distribuida en envases de vidrio de 800gr., para conformar un total de 55 envases, cuyo contenido fue el que se utilizó tanto para las caracterizaciones de peligrosidad exigidas por el Decreto N<sup>o</sup> 2.635, como para la determinación de la proporción de mezcla para la obtención del mortero para revestimiento y para su aplicación en superficies (paredes).

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

De acuerdo con Fariñas et al (2010), se entiende por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información y un instrumento de recolección de datos es en principio cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información.

Considerando lo anterior, se refiere que la investigación se apoya en la recolección de datos primarios a través de técnicas como la observación y la propia experimentación, además de la recolección de datos secundarios mediante la consulta y la recopilación de información en fuentes bibliográficas y documentales.

Los datos primarios surgen del contacto directo con la realidad empírica y las técnicas encaminadas a recogerlos reflejarán necesariamente toda la compleja variedad de situaciones que se presentan en la vida real.

La observación científica pretende percibir activamente la realidad exterior con el propósito de obtener los datos que previamente han sido definidos de interés para la investigación.

La investigación se apoya en la observación simple, y de acuerdo con Fabbri (1998), en ella el observador trata de figurar de la manera más desapercibida posible, evitando que la atención recaiga sobre él, para eliminar las inhibiciones o alteraciones en la conducta del fenómeno observado, de manera que no aparezca como un sujeto activo y se tengan resultados confiables de buena calidad.

Por otro lado en lo que respecta a los datos secundarios, éstos suelen encontrarse diseminados en diversas fuentes de información, bien sea registros bibliográficos o resultados de análisis de laboratorio.

Los instrumentos para la recolección de datos son básicamente el diario de campo y el cuaderno de notas, para la observación y la experimentación. En este sentido, Román et al (2006), define a un diario de campo como una narración minuciosa y periódica de las experiencias vividas y los hechos observados por el investigador y el cuaderno de notas resume una serie de informaciones, datos, expresiones, opiniones, hechos, etc. que pueden constituirse en una valiosa información para la investigación.

La experimentación de acuerdo con Jiménez (2006), se constituye en un método en el cual las variables pueden ser manipuladas en condiciones que permiten la reunión de datos, conociendo los efectos de los estímulos recibidos y creados para su apreciación.

En el experimento existe un control directo sobre un factor de los que se va analizar y exige seleccionar grupos pareados de sujetos, someterlos a tratamientos distintos, controlar las variables y comprobar si las diferencias observadas son significativas.

El mundo observable y/o experimentable se resume mediante unidades de análisis a las que se asignan unos valores en determinadas variables, constituyéndose en una matriz de datos, empleándose como un instrumento de recolección de información, además de la tabulación de datos obtenidos.

Dentro de este contexto, Lauphan (2006), argumenta que la matriz de datos permite ordenar a estos de manera que sea particularmente visible la estructura tripartita de los mismos y es una forma de sistematizar la información recogida de la realidad para investigar un problema y tratar de obtener conocimiento científico que intente explicar dicho problema a través del método de la investigación científica.

Mediante el análisis de la matriz de datos se puede obtener un conocimiento que describa, explique y prediga probabilísticamente el comportamiento de los hechos tal como lo observamos y /o experimentamos en la realidad.

Estos datos también son tabulados de forma organizada para agruparlos, clasificarlos y concentrarlos de forma funcional mediante el uso de hojas tabulares, que en resumen permitirán concentrar información de la interrelación entre las proporciones de los componentes que integran la mezcla requerida para la obtención del mortero para revestimiento, para luego graficar los aspectos determinantes de valor agregado que resalten en significancia.

### **3.5- Procedimiento de la investigación**

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

#### **Fase I: Identificar las características de peligrosidad del catalizador gastado de FCC de la Refinería El Palito y del mortero seco obtenido de la mezcla resultante para su reuso como revestimiento, mediante caracterización ambiental acorde a lo normado en el Decreto Ne 2.635.**

Consistió en someter al catalizador gastado de FCC, a análisis físico-químicos en muestra real y lixiviados, para determinar su peligrosidad, de acuerdo con los parámetros establecidos en el Decreto N° 2.635.

Luego se procedió a someter al mortero seco obtenido por la mezcla entre cemento, catalizador gastado de FCC (usando 50% del desecho como sustituto de la proporción total de cemento requerida), arena y agua, a análisis físico-químicos en muestra real y lixiviados, para determinar su peligrosidad de acuerdo con los parámetros establecidos en el Decreto N° 2.635.

El mortero seco estuvo constituido por una mezcla de iguales proporciones de catalizador gastado de FCC y de cemento (50% para ambos componentes) formando un bloque cuadrado de 15cm por cada lado. La razón de selección del mortero indicado estuvo determinada por el hecho de que la propuesta de la investigación es el reuso del desecho y el mejor escenario sería usarlo en sus mayores proporciones de mezcla.

De acuerdo con el laboratorio Hidrolab Toro Consultores (2013) el cual está acreditado por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, para la captación de las muestras de catalizador gastado necesarias para realizar los análisis de peligrosidad en el desecho y en el bloque elaborado con 50% de sustitución del cemento, se realizó muestreo en las instalaciones de la Refinería El Palito-Área Sur, el día 11 de septiembre de 2013. El lugar se

encuentra a cielo abierto y la muestra se obtuvo como representativa de una cantidad almacenada e inventariada de 550 toneladas de catalizador gastado de FCC (647,6 m<sup>3</sup>, asumiendo una densidad promedio de 0,85 g/cm<sup>3</sup>), contenidas en 4.583 tambores metálicos (asumiendo que cada tambor puede contener 0,12 toneladas).

**Plan de muestreo:** Se programó captar tres (3) sub-muestras del lote para formar una mezcla de aproximadamente de ochocientos (800) g. captando la muestra representativa de todo el estrato del mismo. De igual forma, se captó la muestra testigo para luego colocarlos en envases de plástico de un (01) Lts. c/u para análisis de características de peligrosidad, metales en muestra real, compuestos orgánicos volátiles, compuestos orgánicos volátiles clorados y T.C.L.P (Toxicity Characteristic Leaching Procedure, procedimiento de lixiviación para características de peligrosidad), aceites y grasas, fenoles formaldehído cromatografía de plaguicidas órgano clorados y órgano fosforados en muestra real y lixiviado, siendo rotulado, preservado y almacenado en frío.

**Método de colección:** Las muestras fueron colectadas manualmente utilizando el método Coliwas que obtiene las sub-muestras respectivas, las mismas son compuestas y totalmente representativas del universo total de la muestra.

**Aseguramiento y control de calidad:** Se captó un duplicado de campo, el cual se manejó en idéntica forma que la muestra para análisis y se obtuvo un blanco de campo con agua destilada para observar y descartar posibles contaminaciones durante el muestreo y transporte de las muestras al laboratorio.

Las muestras fueron analizadas en concordancia con lo establecido en las Normas de la U.S.E.P.A. (United States Environmental Protection Agency, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos), Standard Methods, ASTM y norma internacional ISO/IEC 17025:2005, analizando al menos el 10% de las muestras por duplicado. En cada corrida analítica fueron utilizados materiales de referencia o patrones certificados con trazabilidad, los cuales han de presentar un error inferior al 10% a fin de garantizar la exactitud y precisión de los ensayos efectuados.

Toda la metodología usada proviene del Test Methods for Evaluating Solid Waste. Volumen IA, IB y IC. U.S.E.P.A. SW-846. Año 1.995 y normas venezolanas COVENIN.

**Interpretación de resultados:** La interpretación de los resultados fue en concordancia con los valores reglamentados en el Decreto N° 2.635 de la Gaceta Oficial N° 5.245 de fecha 03 de agosto de 1.998.

En lo que respecta al bloque de catalizar gastado y elaborado con sustitución del cemento con 50% del desecho, se procedió a analizar este mortero seco luego de 28 días de fraguado, constituido por una mezcla con adición de 50% de catalizador gastado de FCC (sustituyendo a la mitad la proporción de cemento requerida para una mezcla tradicional para mortero de revestimiento).

Se consideró analizar únicamente dicha proporción de mezcla con 50% de catalizador gastado de FCC en el mortero seco, por ser ésta, la máxima proporción del desecho que se considera que puede ser reusada de acuerdo con la presente investigación. Los análisis fueron realizados por Hidrolab Toro Consultores en 2013, siendo un laboratorio debidamente acreditado por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

**Fase II: Determinar las proporciones de mezcla de cada uno de los componentes (catalizador gastado de FCC, arena, cemento y agua) requeridos en la obtención de morteros para revestimiento.**

Consistió en determinar una proporción de mezcla adecuada entre los componentes requeridos para la obtención del mortero para revestimiento a los fines de asegurar el reuso del catalizador gastado de FCC.

El diseño de las mezclas atendió a la determinación de las cantidades de sus componentes (arena, agua, cemento y catalizador gastado de FCC), basándose en las proporciones originalmente establecidas en la norma MOP 1962, el Manual del Constructor Popular, la norma COVENIN 484-93 y COVENIN 3521-99.

El diseño de las mezclas las agrupó en los siguientes tres (3) tipos:

- Mezcla N° 1: Mortero patrón
- Mezcla N° 2: Mortero con catalizador de FCC al 15%
- Mezcla N° 3: Mortero con catalizador de FCC al 50%

La proporción de mezcla adecuada se concibe como la que permite generar un mortero con buena manejabilidad en estado plástico y que en estado seco posteriormente, posee una adherencia a la tracción y resistencia a la compresión a la edad de 28 días ajustada a lo normado (COVENIN 484 y 3521), que no se agriete a los fines de estética y que por lo tanto permita su aplicabilidad como revestimiento.

Una vez determinadas las proporciones de las mezclas, se procedió a elaborar las probetas cúbicas y luego se realizaron los ensayos correspondientes de adherencia y resistencia a la compresión a la edad normativa de 28 días.

Para cada tipo de mezcla se realizaron 6 mixturas, para un total de 18 mixturas por cada tipo de mezcla, obteniéndose un global de 54, siendo realizadas en probetas cúbicas de metal con dimensiones de 5 cm. x 5 cm. x 5 cm.

Para la ejecución de las mezclas en el laboratorio de materiales y ensayos de la Universidad de Carabobo, se procedió a utilizar las dosificaciones establecidas en la norma COVENIN 484-93 para el posterior análisis de resistencia a la compresión, estipulando que para la ejecución de 6 probetas cúbicas se requiere 500 g. de cemento, 1.375 g. de arena y 242 ml. de agua ( $N_c = 0,48$ ). Para el caso de la determinación de la adherencia se utilizaron las consideraciones de la norma COVENIN 3521:99.

### **Fase III: Analizar las propiedades del mortero seco que permitan su aplicación como revestimiento.**

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

- *Determinación de propiedades mecánicas de las mezclas de los morteros de revestimiento.*

Consistió primeramente en realizar ensayos a los morteros secos obtenidos en la experimentación de la determinación de las proporciones de mezclas de la fase anterior para evaluar las propiedades que permitan argumentar su aplicabilidad, siendo estas: adherencia a la tracción y resistencia a la compresión a los 28 días.

Primeramente, las probetas cúbicas de cada una de las tres (3) mezclas fueron pesadas, para luego dimensionar su volumen y determinar su respectiva densidad.

Posteriormente, luego de 28 días de su elaboración, se procedió a realizar los respectivos ensayos de adherencia a la tracción y la resistencia a la compresión.

Para el desarrollo de esta fase se obtuvo el apoyo del Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo.

- *Realización de ensayos prácticos de verificación de la utilidad de los morteros de revestimiento.*

Se aplicaron los tres (3) morteros analizados, en superficies (paredes), para visualizar su comportamiento de adherencia y apariencia, además de verificar su resistencia.

Para el desarrollo de esta fase se contó con el apoyo del Departamento de Ingeniería de la empresa "Consorcio Sadaba y Candel", dedicada a la construcción de Centros Comerciales dentro del Estado Carabobo.

Se aplicaron los tres (3) morteros evaluados en la fase anterior (mortero patrón, mortero con catalizador de FCC al 15% y mortero con catalizador de FCC al 50%) en paredes de aproximadamente nueve (9) m<sup>2</sup>, con un espesor de 5cm y se evaluó visualmente y de manera práctica contando el número de golpes que son necesarios para fijar un clavo de acero totalmente incrustado en la pared, mediante el uso de un martillo, luego de 28 días de su aplicación como revestimiento.

**Fase IV: Investigar las implicaciones ambientales y de higiene ocupacional derivadas de la manipulación del catalizador gastado de FCC al ser utilizados como agregado en morteros para revestimiento.**

Consistió en argumentar las consideraciones y aspectos ambientales derivados del uso de los finos de catalizador gastado de FCC en la elaboración del mortero para revestimiento, así como las implicaciones de higiene ocupacional inherentes a su aplicación y manipulación.

**Fase V: Realizar una relación costo-beneficio sobre el reuso del catalizador gastado de FCC de la Refinería El Palito como agregado en morteros para revestimiento.**

Se realizaron cálculos y estimaciones sobre las relaciones de costo entre la adquisición de catalizador de FCC nuevo (insumo para proceso industrial) y la disposición del respectivo catalizador (desecho) para las cantidades almacenadas en existencias (población de la investigación) y las de generación anual en PDVSA Refinería El Palito en un escenario de una década (2014-2023), resaltando los beneficios de reusar el desecho en comparación a disponerlo por co-procesamiento térmico.

Los datos referentes a la adquisición de catalizador de FCC nuevo fueron suministrados por la Superintendencia de Finanzas de la refinería y los respectivos a costos por co-procesamiento térmico fueron obtenidos por la Gerencia de Ambiente de acuerdo con su experiencia en el tratamiento actual del catalizador gastado de FCC bajo esta técnica por la empresa INVECEM.