



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
AREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL



**REUSO DE FINOS DE CATALIZADOR GASTADO DE FCC DE LA REFINERÍA EL PALITO  
COMO AGREGADO EN MORTEROS PARA REVESTIMIENTO**

AUTOR: ING. JESÚS LOBO

TUROR: MSc. ALEJANDRA RIVERO

VALENCIA, OCTUBRE DE 2014



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
AREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL



**REUSO DE FINOS DE CATALIZADOR GASTADO DE FCC DE LA REFINERÍA EL PALITO  
COMO AGREGADO EN MORTEROS PARA REVESTIMIENTO**

AUTOR: ING. JESÚS LOBO

Trabajo presentado ante el Área de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo para optar al Título de Magíster en Ingeniería Ambiental

VALENCIA, OCTUBRE DE 2014



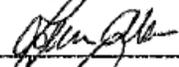
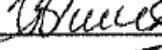
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
AREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL



**REUSO DE FINOS CATALIZADOR GASTADO DE FCC DE LA REFINERÍA EL PALITO COMO  
AGREGADO EN MORTEROS PARA REVESTIMIENTO**

AUTOR: JESÚS LOBO

Aprobado en el Área de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo por  
Miembros de la Comisión Coordinadora del Programa: Maestría en Ingeniería  
Ambiental.

	CE 13470475	Prof. Laura Albano
	CE 8842095	Prof. Auxilia Mallia
	CE 7010110	Prof. Mirna Polo

VALENCIA, OCTUBRE DE 2014

## **DEDICATORIA**

Para todos quienes soñamos sin imposición de limitaciones y con la fe plena que nuestros esfuerzos son gratificados por la vida misma, desde apenas el aspecto mas simple, dándonos satisfacción.

Para una mujer grande que me enseñó a no limitar mis sueños; que ellos son las motivaciones de la existencia, haciéndola interesante.

Para ella, que es muestra de lucha y de amor sincero.

Para el amor más puro, más bonito y más honesto que alguna palabra pueda describir y gratificar.

Para la mujer más linda y la madre más dedicada.

Para mi abuela Máxima Emilia Díaz de Lobo.

El amor para que sea autentico, debe costarnos  
Madre Teresa de Calcuta.

## RECONOCIMIENTO

A Dios por guiarme, cuidarme y demostrarme su gracia y existencia.

A mis padres y familiares por su apoyo incondicional y vocación en mi educación por el camino del bien.

A mis compañeros de trabajo por contribuir con los aportes que han enriquecido mi investigación.

A PDVSA y en especial a la Refinería El Palito, por brindarme sus recursos económicos y logísticos para el desarrollo de mi investigación.

A la Universidad de Carabobo como casa de estudios que me ha brindado los conocimientos necesarios para mi formación académica.

Al Profesor Edson Martínez Oberto como jefe del Laboratorio de Materiales y Ensayos de la Universidad de Carabobo por su colaboración, apoyo y asesoría en el diseño de las mezclas y el análisis de propiedades mecánicas de morteros para revestimiento.

A Elimar Rivas por su colaboración en el desarrollo de los ensayos prácticos de utilidad de morteros para revestimiento.

A mi tutora Alejandra Rivero por servirme de guía y apoyo en la revisión del enfoque ambiental de la investigación.

Para todos aquellos que directa e indirectamente han contribuido de la forma más oportuna y conveniente.

***Un solo pensamiento de gratitud hacia el cielo, es la oración más perfecta.***

**Gotthold Ephraim Lessing.**

## INDICE GENERAL

	<i>Pág.</i>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>X</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XIV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: EL PROBLEMA</b>	
Planteamiento del Problema.....	<b>4</b>
Formulación del Problema.....	<b>11</b>
Objetivos.....	<b>12</b>
Justificación.....	<b>13</b>
Alcance.....	<b>14</b>
Limitaciones.....	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>	
Antecedentes de la Investigación.....	<b>16</b>
Revisión Bibliográfica.....	<b>22</b>
Bases Legales.....	<b>46</b>
Definición de Términos Básicos.....	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO</b>	
Tipo de Investigación.....	<b>51</b>
Diseño de la Investigación.....	<b>51</b>
Población y Muestra.....	<b>52</b>
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	<b>53</b>
Procedimiento de la Investigación.....	<b>56</b>
<b>CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	
Análisis y Discusión de Resultados.....	<b>62</b>

	<i>Pág.</i>
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
Conclusiones.....	<b>120</b>
Recomendaciones.....	<b>124</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXOS:</b>	
Anexo A. Hoja Técnica del cemento CPCA2.....	<b>132</b>
Anexo B. Hoja de Seguridad del Catalizador de FCC (nuevo).....	<b>133</b>
Anexo C. Cantidades inventariadas de catalizador gastado de FCC (550 Ton) almacenadas en Refinería El Palito.....	<b>140</b>
Anexo D. Muestra de catalizador gastado de FCC (envase de vidrio de 800 gr.).....	<b>140</b>
Anexo E. Preparación y vaciado de las mezclas para morteros.....	<b>141</b>
Anexo F. Probetas cúbicas elaboradas para análisis de resistencia a la compresión.....	<b>142</b>
Anexo G. Moldes elaborados para análisis de adherencia a la tracción.....	<b>143</b>
Anexo H. Materiales y equipos de laboratorio de la Universidad de Carabobo utilizados en la preparación de las mezclas para morteros y análisis de resistencia a la compresión y adherencia a la tracción.....	<b>144</b>
Anexo I. Adición de catalizador gastado de FCC en mezcla para morteros de revestimiento para paredes.....	<b>145</b>
Anexo J. Paredes sujetas a revestimiento, con las tres mezclas de morteros analizados en la investigación.....	<b>146</b>
Anexo K. Paredes revestidas, provenientes de las tres mezclas de morteros analizados en la investigación.....	<b>147</b>
Anexo L. Ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días en morteros.....	<b>148</b>
Anexo M. Ensayos de adherencia a la tracción a los 28 días en morteros.....	<b>149</b>

## INDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
<b>Figura Nº 1.</b> Vista de planta de Refinería El Palito.....	<b>23</b>
<b>Figura Nº 2.</b> Unidades de Producción en Refinería El Palito.....	<b>25</b>
<b>Figura Nº 3.</b> Unidad de FCC-Sistema Reactor Regenerador.....	<b>26</b>
<b>Figura Nº 4.</b> Suministros y secuencia operacional de planta de FCC.....	<b>26</b>
<b>Figura Nº 5.</b> Estructura de una zeolita faujasita.....	<b>28</b>
<b>Figura Nº 6.</b> Clasificación de algunas zeolitas.....	<b>28</b>
<b>Figura Nº 7.</b> Emisión global de CO2 en el año 2000.....	<b>33</b>
<b>Figura Nº 8.</b> Producción de CO2 por quema de combustibles fósiles y fabricación de cemento.....	<b>33</b>
<b>Figura Nº 9.</b> Proceso de Fabricación del cemento.....	<b>39</b>
<b>Figura Nº 10.</b> Estado actual y futuro en el reuso del catalizador gastado de FCC.....	<b>40</b>
<b>Figura Nº 11.</b> Gestión integral de desechos en PDVSA.....	<b>41</b>
<b>Figura Nº 12.</b> Consumo de cemento en América Latina y el Caribe en 2010-2012.....	<b>43</b>
<b>Figura Nº 13.</b> Consumo per cápita (Kg./Hab.) de cemento en América Latina y el Caribe en 2010-2012.....	<b>44</b>
<b>Figura Nº 14.</b> Evolución de la producción de cemento en el mundo para el periodo 2001- 2012 (Millones de Toneladas, Base 2001=100).....	<b>45</b>
<b>Figura Nº 15.</b> Valores promedio de resistencia a la compresión a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero patrón.....	<b>86</b>
<b>Figura Nº 16.</b> Valores promedio de resistencia a la compresión a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con adición catalizador gastado de FCC al 15%.....	<b>88</b>
<b>Figura Nº 17.</b> Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 50%.....	<b>90</b>
<b>Figura Nº 18.</b> Distribución de los valores promedios de resistencia a la compresión a los 28 días de los seis (6) componentes de mezcla de los morteros evaluados.....	<b>91</b>

<b>Figura Nº 19.</b> Distribución de promedios totales de resistencia a la compresión a los 28 días de los morteros evaluados.....	<b>92</b>
<b>Figura Nº 20.</b> Valores de adherencia a la tracción a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero patrón.....	<b>94</b>
<b>Figura Nº 21.</b> Valores de adherencia a la tracción a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 15%.....	<b>96</b>
<b>Figura Nº 22.</b> Valores de adherencia a la tracción a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 50%.....	<b>98</b>
<b>Figura Nº 23.</b> Distribución de los valores de adherencia a la tracción a los 28 días de los seis (6) componentes de mezcla de los morteros evaluados.....	<b>99</b>
<b>Figura Nº 24.</b> Distribución de promedios de adherencia a la tracción a los 28 días de los morteros evaluados.....	<b>100</b>
<b>Figura Nº 25.</b> Relación entre el % de reuso de catalizador gastado de FCC almacenado como inventario y su costo por disposición final, expresado en BsF.....	<b>110</b>
<b>Figura Nº 26.</b> Relación entre el % de reuso de catalizador gastado de FCC almacenado como inventario y su costo por disposición final, expresado en \$.....	<b>111</b>
<b>Figura Nº 27.</b> Proyección 2014-2023 de la relación entre el % de reuso de catalizador gastado de FCC generado anualmente y su costo por disposición final, expresado en BsF.....	<b>115</b>
<b>Figura Nº 28.</b> Proyección 2014-2023 de la relación entre el % de reuso de catalizador gastado de FCC generado anualmente y su costo por disposición final, expresado en \$.....	<b>117</b>

## INDICE DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
<b>Tabla Nº 1.</b> Análisis de peligrosidad de catalizador gastado de FCC.....	<b>63</b>
<b>Tabla Nº 2.</b> Análisis de metales en muestra real de catalizador gastado de FCC.....	<b>64</b>
<b>Tabla Nº 3.</b> Compuestos aromáticos policíclicos en muestra de catalizador gastado de FCC.....	<b>65</b>
<b>Tabla Nº 4.</b> Test de lixiviación (T.C.L.P.)-Análisis de lixiviado en muestra de catalizador gastado de FCC.....	<b>66</b>
<b>Tabla Nº 5.</b> Test de lixiviación (T.C.L.P.)-Evaluación en el lixiviado en muestra de catalizador gastado de FCC.....	<b>66</b>
<b>Tabla Nº 6.</b> Análisis de Peligrosidad. Bloque de Catalizador Gastado de FCC al 50%.....	<b>67</b>
<b>Tabla Nº 7.</b> Análisis de metales en muestra real. Bloque de Catalizador Gastado de FCC al 50%.....	<b>68</b>
<b>Tabla Nº 8.</b> Test de Lixiviación (T.C.L.P.). Análisis de Lixiviado. Bloque de Catalizador Gastado de FCC al 50%.....	<b>68</b>
<b>Tabla Nº 9.</b> Test de Lixiviación (T.C.L.P.): Evaluación en el Lixiviado. Bloque de Catalizador Gastado de FCC al 50%.....	<b>69</b>
<b>Tabla Nº 10.</b> Comparación del análisis de peligrosidad para catalizador gastado de FCC (polvo) y bloque de mortero seco donde se uso 50% del desecho en su proporción de mezcla.....	<b>69</b>
<b>Tabla Nº 11.</b> Comparación de análisis de metales en muestra real para catalizador gastado de FCC (polvo) y bloque de mortero seco donde se uso 50% del desecho en su proporción de mezcla.....	<b>70</b>
<b>Tabla Nº 12.</b> Comparación de test de lixiviación (T.C.L.P.)- Análisis de lixiviado para catalizador gastado de FCC (polvo) y bloque de mortero seco donde se uso 50% del desecho en su proporción de mezcla.....	<b>71</b>
<b>Tabla Nº 13.</b> Comparación del test de lixiviación (T.C.L.P.). Evaluación en el lixiviado para catalizador gastado de FCC (polvo) y bloque de mortero seco donde se uso 50% del desecho en su proporción.....	<b>72</b>

	Pág.
<b>Tabla Nº 14.</b> Características físico –químicas de los componentes de las mezclas para mortero de revestimiento.....	74
<b>Tabla Nº 15.</b> Dosificaciones de materiales (mezcla mortero patrón) para análisis de resistencia a compresión a 28 días.....	75
<b>Tabla Nº 16.</b> Dosificaciones de materiales (mezcla mortero patrón) para análisis de adherencia a 28 días.....	75
<b>Tabla Nº 17.</b> Total de dosificaciones de materiales (mezcla mortero patrón) para análisis de adherencia y resistencia a la compresión a los 28 días.....	75
<b>Tabla Nº 18.</b> Dosificaciones de materiales (mezcla mortero patrón) por cada repetición mixtura para análisis de adherencia y resistencia a la compresión a los 28 días.....	76
<b>Tabla Nº 19.</b> Dosificaciones de materiales (mezcla mortero con catalizador al 15%) para análisis de resistencia a compresión a 28 días.....	76
<b>Tabla Nº 20.</b> Dosificaciones de materiales (mezcla mortero catalizador de FCC al 15%) para análisis de adherencia a 28 días.....	77
<b>Tabla Nº 21.</b> Total de dosificaciones de materiales (mezcla mortero catalizador de FCC al 15%) para análisis de adherencia y resistencia a la compresión a los 28 días.....	77
<b>Tabla Nº 22.</b> Dosificaciones de materiales (mezcla mortero catalizador de FCC al 15%) por cada repetición mixtura para análisis de adherencia y resistencia a la compresión a los 28 días.....	78
<b>Tabla Nº 23.</b> Dosificaciones de materiales (mezcla mortero catalizador de FCC al 50%) para análisis de resistencia a compresión a 28 días.....	78
<b>Tabla Nº 24.</b> Dosificaciones de materiales (mezcla mortero catalizador de FCC al 50%) para análisis de adherencia a 28 días.....	79
<b>Tabla Nº 25.</b> Total de dosificaciones de materiales (mezcla mortero catalizador de FCC al 50%) para análisis de adherencia y resistencia a la compresión a los 28 días.....	79

	<i>Pág.</i>
<b>Tabla Nº 26.</b> Dosificaciones de materiales (mezcla mortero catalizador de FCC al 50%) por cada repetición mixtura para análisis de adherencia y resistencia a la compresión a los 28 días.....	<b>80</b>
<b>Tabla N 27.</b> Cantidades totales de los componentes utilizados para las tres (3) mezclas de la experimentación.....	<b>81</b>
<b>Tabla Nº 28.</b> Valores peso, volumen y densidad de probetas cúbicas elaboradas con la mezcla de mortero patrón.....	<b>82</b>
<b>Tabla Nº 29.</b> Valores peso, volumen y densidad de probetas cúbicas elaboradas con la mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 15%.....	<b>82</b>
<b>Tabla Nº 30.</b> Valores peso, volumen y densidad de probetas cúbicas elaboradas con la mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 50%.....	<b>83</b>
<b>Tabla Nº 31.</b> Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero patrón.....	<b>85</b>
<b>Tabla Nº 32.</b> Valores promedio de resistencia a la compresión a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con adición de catalizador gastado de FCC al 15%.....	<b>87</b>
<b>Tabla Nº 33.</b> Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 50%.....	<b>89</b>
<b>Tabla Nº 34.</b> Resultados de adherencia a la tracción a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero patrón.....	<b>93</b>
<b>Tabla Nº 35.</b> Resultados de adherencia a la tracción a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 15%.....	<b>95</b>
<b>Tabla Nº 36.</b> Resultados de adherencia a la tracción a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 50%.....	<b>97</b>

<b>Tabla N° 37.</b> Dosificaciones de mezcla para revestimiento de pared con mezcla de mortero patrón.....	<b>101</b>
<b>Tabla N° 38.</b> Dosificaciones de mezcla para revestimiento de pared con mezcla de mortero con catalizador al 15%.....	<b>102</b>
<b>Tabla N° 39.</b> Dosificaciones de mezcla para revestimiento de pared con mezcla de mortero con catalizador al 50%.....	<b>102</b>
<b>Tabla N° 40.</b> Cantidades totales de los componentes utilizados para las tres (3) mezclas utilizadas como revestimiento de pared.....	<b>103</b>
<b>Tabla N° 41.</b> Costo por disposición de catalizador gastado y adquisición de catalizador nuevo de 550 toneladas acumuladas en inventario (647,6 m <sup>3</sup> ).....	<b>108</b>
<b>Tabla N° 42.</b> Relación entre el % de reuso de catalizador gastado de FCC almacenado como inventario y su costo por disposición final.....	<b>109</b>
<b>Tabla N° 43.</b> Costo por adquisición de catalizador nuevo y disposición de catalizador gastado en período 2014-2023 para 2.550 toneladas anuales generadas.....	<b>112</b>
<b>Tabla N° 44.</b> Serie histórica y proyección de inflación según Banco Central de Venezuela.....	<b>113</b>
<b>Tabla N° 45.</b> Proyección 2014-2023 de la relación entre el % de reuso de catalizador gastado de FCC generado anualmente y su costo por disposición final, expresado en Bsf.....	<b>114</b>
<b>Tabla N° 46.</b> Proyección 2014-2023 de la relación entre el % de reuso de catalizador gastado de FCC generado anualmente y su costo por disposición final, expresado en \$.....	<b>116</b>
<b>Tabla N° 47.</b> Ventajas y desventajas de alternativas en el manejo del catalizador gastado de FCC.....	<b>119</b>



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
AREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MAESTRIA EN  
INGENIERIA AMBIENTAL



## REUSO DE FINOS DE CATALIZADOR GASTADO DE FCC DE LA REFINERÍA EL PALITO COMO AGREGADO EN MORTEROS PARA REVESTIMIENTO

**AUTOR:** ING. JESÚS LOBO

**TUTOR:** MSc. ALEJANDRA RIVERO

### RESUMEN

PDVSA Refinería El palito posee un inventario actual de catalizador gastado de FCC de 550 Ton. (647,6 m<sup>3</sup>) y la tasa anual de generación del mismo se estima a razón de 2.500 Ton. (2.983,5 m<sup>3</sup>), para lo cual se requiere de un manejo oportuno y eficiente del desecho, por lo que su reuso como agregado en morteros de revestimiento se constituye en una opción cónsona con la conservación ambiental que permite concebir al catalizador mas bien como un residuo con potencial valorizable.

El desecho es un catalizador que proviene de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado FCC y se compone básicamente de sílice y alúmina, otorgándole propiedades puzolánicas que le asignan un potencial aprovechable en el sector construcción, pero que en Venezuela particularmente han sido poco estudiadas y menos su aprovechamiento como agregado para morteros de revestimiento, pero si dentro de otros sectores industriales diferentes. El catalizador gastado de FCC es un desecho no peligroso según la caracterización ambiental realizada por Hidrolab Toro Consultores en 2013 y ajustada a lo normado por el Decreto N° 2.635. La investigación desarrollada es de tipo descriptiva, con un diseño de campo y naturaleza experimental, la cual demostró que el reuso del desecho en las mezclas para morteros de revestimiento que se realizaron con muestras caracterizadas que no indicaron peligrosidad ambiental, no representa un peligro a la salud humana o al ambiente por cuanto sus constituyentes (trazas de elementos metálicos) quedan inmersos en la matriz del mortero seco y sus concentraciones disminuyen considerablemente.

El reuso del catalizador gastado de FCC permite que no se disponga de forma final en un vertedero o relleno sanitario, pero principalmente que no se disponga mediante la técnica de co-procesamiento térmico por la empresa estatal cementera INVECEM, generando emisiones atmosféricas contaminantes al ambiente y requiriendo del uso de energía y quema de combustibles fósiles. Además repercute en un ahorro significativo para PDVSA por cuanto reduciría sus costos vinculados por la eliminación del desecho. El catalizador gastado de FCC es un polvo fino con granulometría de (5-20 micrones) que se comporta como un polvo con la capacidad de dispersarse por el aire, por lo que para evitar su posible inhalación e ingreso a las vías respiratorias, se recomienda el uso de una mascarilla contra polvo de sílice y alúmina en su manipulación, así como también para el cemento y la arena. El uso del desecho en morteros, no genera grietas ni fisuras al ser usado como revestimiento en paredes y le proporciona un tono levemente oscuro. La experimentación de la mezcla con adición de 15% catalizador gastado de FCC como sustituto del cemento, permitió evidenciar que aumenta levemente la resistencia mecánica del mismo, al compararse con un mortero patrón, haciéndose un poco menos manejable y por lo tanto el tiempo en ser aplicado debe ser un poco menor. La adición de éste 15% de catalizador en el diseño de mezcla muestra resultados superiores de adherencia a la tracción que los obtenidos en el diseño de mezcla patrón.

**Palabras claves:** Reuso, desecho, mortero, revestimiento, catalizador gastado de FCC.

## ABSTRACT

El Palito Refinery-PDVSA poses a current inventory of FCC spent catalyst estimated at 550 tons. (647.6 m<sup>3</sup>) and the annual rate of the same generation is calculated at 2,500 tons. (2,983.5 m<sup>3</sup>), which is required for a timely and efficient waste management, so that its reuse as aggregate in mortar coating constitutes a choice in harmony with environmental conservation that allows conceiving the catalyst rather as a residue with recoverable potential.

The waste is a catalyst that comes from the Fluid Catalytic Cracking Unit (FCC) and is basically composed of silica and alumina, giving pozzolanic properties that assign a potential use in the construction sector, but particularly have been in Venezuela little studied and less its use as aggregate for mortar coating, but if within various other industries.

Spent FCC catalyst is a non-hazardous waste according to an environmental characterization made by Toro Hidrolab Consultants in 2013 and to the standards set by Decree No. 2,635.

The research is descriptive, with a field design and experimental nature, which has proven that the reuse of waste in mixtures for coating mortars were performed with samples characterized which indicated non environmental hazard, does not represent a hazard to human health or the environment because their constituents (trace metals) are immersed in dry mortar matrix and their concentrations decrease considerably.

Reuse of spent FCC catalyst allows not available through burning by thermal co-processing as a method of disposal in the Venezuelan cement company INVECEM or disposed of in a landfill, generating air emissions polluting the environment and requiring the use of energy and fuel combustion fossils. Also affects a significant savings because PDVSA reduce its bound by the elimination of waste costs.

Spent FCC catalyst is a fine powder with particle size of (5-20 microns) which acts as dust with the ability to disperse in the air, so to prevent inhalation and possible entry into the airways; it is recommended the use of a dust mask of silica and alumina in its handling, and also for the cement and sand.

The use of waste in a mortar produces no cracks or breaks when used as a coating for walls and gives a slightly darker hue.

Mixing experiments with addition of 15% spent FCC catalyst as a substitute for cement, allowed to evidence that slightly increases mechanical strength thereof, when compared to a standard mortar, becoming a little less manageable and therefore the time to be applied should be a little lower. Addition of 15% catalyst in the mixture design, exhibits superior adhesions results than those obtained in the design of standard mixture.

**Keywords: Reuse, waste, mortar, coating, FCC spent catalyst.**

## INTRODUCCIÓN

Son variados los desechos industriales que Refinería El Palito genera como producto de sus actividades vinculadas a la elaboración de combustibles, para lo cual se debe garantizar una gestión eficiente en el manejo de los mismos, mediante prácticas comprometidas con la protección ambiental.

No basta con determinar las alternativas de disposición final de los desechos generados, sino más bien la buena práctica se constituye en visualizar posibles usos de los mismos para darle utilidad dentro de otros sectores industriales, dado que muchos de ellos poseen características aprovechables que determinan su reuso.

La presente investigación se enmarca en el aprovechamiento de un desecho conocido como catalizador gastado de FCC, que por sus elementos constituyentes pudiese ser reusado como agregado para morteros de revestimiento, actuando como sustituto del cemento.

La legislación ambiental venezolana es determinante en cuanto a la garantía del reuso de desechos aprovechables como una práctica sustentable dentro de la cual PDVSA de acuerdo con su política ambiental se alinea para ubicar la mejor estrategia de gestión oportuna.

La disposición final por co-procesamiento térmico que actualmente se aplica al desecho, evidencia que no necesariamente es la mejor alternativa en su manejo, tanto por implicaciones ambientales como por costos asociados. Por ello reusar el desecho no solo incide en lo indicado, sino que permite darle utilidad de aprovechamiento y además como sustituto del cemento, pudiese solventar una necesidad social vinculada a las altas demandas del mismo en el sector construcción.

Actualmente el principal material cementante es el cemento Portland; sin embargo, su producción genera gran cantidad de gases de efecto invernadero. La disminución de estos gases durante la producción de cemento se puede lograr disminuyendo el consumo de combustible, o reduciendo la producción de clínker a través de la incorporación de

adiciones minerales en el momento de la fabricación de morteros o concretos. Por lo tanto, es una práctica oportuna, utilizar adiciones en las mezclas como reemplazo de material cementante, que por lo general son subproductos de otros procesos o materiales de origen natural.

La fabricación del cemento demanda también de la quema de combustibles fósiles para la generación de energía y la extracción del suelo de los respectivos agregados para su obtención. Disminuyendo las tasas de consumo del cemento derivado del incremento de su sustitución por el respectivo desecho, se contribuye con la conservación ambiental y el beneficio social por ende se acentúa.

El uso de los finos de catalizador gastado de FCC como un material residual con propiedades puzolánicas trae consigo un beneficio medioambiental doble: por un lado, la sustitución de parte de cemento, y por otro, el consumo de los materiales residuales de otros procesos industriales, que de no utilizarse tendrían que almacenarse en vertederos controlados o incinerarse.

Su uso es importante desde el punto de vista ambiental y económico, pues además de ser un residuo industrial, su inclusión en las mezclas como reemplazo de material cementante llevará al desarrollo de morteros de alto desempeño y de allí su interés a nivel local y mundial.

Estas y muchas otras consideraciones ambientales derivadas del reuso del desecho están referidas dentro de la presente investigación, la cual se estructura en los siguientes capítulos:

Capítulo I: donde se presenta el planteamiento del problema, objetivos, justificación, alcance y limitaciones.

Capítulo II: que incluye los aspectos teóricos de la investigación, sus antecedentes y las respectivas bases legales que la complementan.

Capítulo III: se desarrolla la naturaleza de la investigación en su tipo y diseño, se especifica su población y muestra, se refieren las técnicas de colección de información y

se describe el procedimiento de la investigación consecuente con la obtención de los posteriores resultados.

Capítulo IV: corresponde a los diferentes resultados obtenidos en la experimentación de la investigación y que son provenientes de la consecución del procedimiento de la misma.

Finalmente se incluyen las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

# CAPITULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los desechos sólidos provenientes de los procesos productivos de la industria petrolera, son considerados como materiales o productos sin utilidad inmediata, para los 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 la Constitución Nacional.

Dada las características de peligrosidad de los desechos, éstos se almacenan bajo condiciones especiales que impiden la dispersión de sus elementos constituyentes en el ambiente, bajo criterios de incompatibilidad mutuos y debidamente envasados e identificados como lo expresa el Decreto Nº 2.635 “Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos”; y el procedimiento interno de la Refinería El Palito, RFEP-ISHA-004 “Manejo y Disposición de Desechos”, que contempla, que éstos deben ser envasados en contenedores metálicos debidamente pintados e identificados con el nombre del desecho, unidad generadora y fecha, colocados en paletas de madera hasta un máximo de dos (2) niveles de altura.

Entonces, debido a las altas tasas de generación de desechos, la necesidad de envasado de éstos y las fallas 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 los mismos. 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 industriales como parte de la materia prima requerida en la obtención de sus productos, y asegurándose que las características peligrosas no representen ningún tipo de riesgo para la salud humana, la conservación del ambiente y la vida en general.

Adicional a las tasas regulares de generación de finos de catalizador gastado de FCC, se suman aquellas asociadas con paradas de planta programadas o no programadas, donde los niveles aumentan excesivamente y ello representa una situación que demanda con prontitud la disposición de tales desechos, porque ocupan mayor espacio en las instalaciones destinadas para su almacenamiento temporal. Esta demanda de nuevos espacios ha obligado que se habiliten otras áreas para su almacenamiento a granel, sin ser envasados, propiciando una situación que le otorga a los finos de catalizador gastado de FCC la capacidad de dispersarse por el aire debido a su diminuta granulometría, no sólo afectando la salud de los trabajadores, sino también, a las comunidades en el área de influencia de la refinería.

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 los impactos que este desecho pueda desencadenar en el ambiente o a la salud humana por su manipulación.

Asumiendo lo anterior, se entiende que el catalizador gastado de FCC se constituye en un desecho no peligroso según caracterizaciones de peligrosidad realizadas en varias oportunidades de acuerdo a lo normado en el Decreto N° 2.635, con una diminuta granulometría (5 a-20 micrones) que le permite entrar en el rango de material particulado según el Decreto N° 638, y se conoce que ello genera una condición de posible riesgo ambiental y ocupacional por su manipulación, al poder ser inhalado al exponerse prolongadamente ante su presencia, siendo esta una condición de higiene ocupacional que no corresponde al alcance de la presente investigación; sin embargo es importante indicar que la referida situación riesgosa puede ser mitigada con el uso del respectivo equipo de protección respiratoria (mascarilla para partículas) en su manipulación.

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 para 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 el

Registro de Actividades Capaces de Degradar el Ambiente (RACDA), que asegura ante la autoridad ambiental nacional que están autorizados como manejadores de materiales y desechos peligrosos. En Venezuela, para el caso particular de los finos de catalizador gastado de FCC, actualmente no existe alternativa de recuperación del mismo, sino más bien de disposición final.

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 lo originó, como también, para su uso en otro proceso diferente.

Petróleos de Venezuela, 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, que muchos 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 no peligrosos y recuperables (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 reuso como agregado en morteros de revestimiento.

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) y “Situación Almacenamiento de Desechos” (2005), respectivamente, existen unas cantidades considerables de desechos almacenados en refinería.

Para el año 2014 se registra una totalidad aproximada de 550 toneladas de catalizador gastado de FCC ( $647,6 \text{ m}^3$ , asumiendo una densidad promedio de  $0,85 \text{ g/cm}^3$ ) que se han almacenado como inventario, en su 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 4.583 tambores metálicos (asumiendo que cada tambor puede contener 0,12 toneladas, estando lleno hasta el 80% de su capacidad).

Actualmente los finos de catalizador gastado que se generan son dispuestos de forma final a través del método de co-procesamiento térmico por la empresa estatal INVECEM, lo cual significa un gran impacto económico para PDVSA, el cual podría reducirse con el reuso de este desecho, convirtiéndose entonces en un residuo.

La tasa actual de generación anual de los finos de catalizador gastado de FCC en la refinería es de 2.550 toneladas ( $2.983,5 \text{ m}^3$ ), representando a su vez  $248,58 \text{ m}^3$  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 la habilitación de otros espacios improvisados para el almacenamiento temporal de los finos de catalizador gastado de FCC dentro de la refinería, pudiendo estar almacenados en tambores metálicos, muchos de ellos afectados por la intemperie, con marcados signos de deterioro y presentado avanzados estados de corrosión, la mayoría sin la identificación correspondiente, de manera que se desconoce su fecha de envasado; otros almacenados a granel sin protección, siendo todos susceptibles a acciones de vandalismo.

El Plan de Adecuación de Desechos de la Refinería El Palito presentado el 4 de marzo de 2010, 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.

En cuanto a la disposición de los desechos industriales, con potencial recuperable, como es el caso de los finos de catalizador gastado de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC), sucede que su uso como agregado para morteros de revestimiento, 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 las proporciones del desecho (cuya composición es básicamente alúmina y sílice) que le permitan ser reusado como materia prima, en la mezcla junto con arena, cemento y agua, cuya naturaleza no represente un riesgo para la salud humana y el ambiente.

De acuerdo con un informe emitido por Alejandro Ramos, en el año 2004, el catalizador gastado de FCC, es un material no peligroso, según su caracterización, y a razón de tal condición, debe ser manejado 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”.

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 más 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 ajustados con una cinta metálica (flejados).
- Delimitación 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.

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

Al reusarse los finos de catalizador gastado de FCC, éste 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 en 2009, y dado a que sus elementos constituyentes (material particulado) quedarían inmersos en la matriz del producto sin posibilidad alguna de dispersarse o desprenderse o lixiviarse.

Recuperando el contenido de sílice y alúmina aprovechable de estos desechos residuales de la REP, según Gómez, L. (2004), 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.

Según el Decreto Nº 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?

¿La recuperación de este desecho como agregado para morteros de revestimiento representa una alternativa de aprovechamiento?

¿Este desecho representa un riesgo considerable a la salud y al ambiente, cuando es utilizado como agregado de morteros para revestimiento?

¿Cuál es la proporción adecuada de mezcla entre los componentes necesarios para la obtención de un mortero para revestimiento con propiedades que permitan su aplicabilidad?

¿El reuso del desecho como agregado de morteros para revestimiento representa una mejor alternativa de aprovechamiento en relación a su forma actual de disposición final mediante co-procesamiento térmico?

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El reuso de los finos de catalizador gastado de FCC se constituiría en una alternativa cónsona con las premisas de conservación del ambiente que sigue PDVSA dentro de su política ambiental y permitiría disminuir los actuales inventarios de desechos almacenados que ocupan grandes áreas y permitiría sustituir el método actual de co-procesamiento térmico, que implica un gran desembolso económico para PDVSA y que además de consumir grandes cantidades de energía para la incineración del desecho, genera emisiones contaminantes a la atmósfera.

El catalizador gastado de FCC debido a su fina granulometría, a su composición sílico-aluminosa y a antecedentes previos de su utilización con resultados favorables en otras aplicaciones industriales, se perfila con un uso potencial de aprovechamiento para la elaboración de un mortero con propiedades adecuadas que permitan su aplicación en revestimientos y que ésta no represente un riesgo al ambiente o a la salud humana, al poder determinarse la proporción de mezcla mas adecuada junto con los otros componentes como el cemento, el agua y la arena.

Las tasas de generación de este desecho son elevadas, demandando grandes espacios para su almacenamiento temporal para luego gestionarse su disposición por co-procesamiento térmico en la industria cementera, constituyéndose en una solución costosa para PDVSA y con implicaciones ambientales, por lo que la valorización del desecho a través de su reuso constituye una práctica oportuna y más eficiente en su manejo.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el reuso de los finos de catalizador gastado de FCC de la Refinería El Palito como agregado en morteros para revestimiento.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1.3.2.1. Identificar las características de peligrosidad de los finos de 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 N° 2.635.

1.3.2.2. 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.

1.3.2.3. Analizar las propiedades del mortero seco que permitan su aplicación como revestimiento.

1.3.2.4. Investigar las implicaciones ambientales y de higiene ocupacional derivadas de la manipulación de los finos de catalizador gastado de FCC al ser utilizados como agregado en morteros para revestimiento.

1.3.2.5 Realizar una relación costo-beneficio sobre el reuso de los finos de catalizador gastado de FCC de la Refinería El Palito como agregado en morteros para revestimiento.

#### 1.4 JUSTIFICACIÓN

Las altas tasas de generación de los finos de catalizador gastado de FCC demandan que cada vez más se requieran espacios mayores para su almacenamiento temporal además de la visualización de mecanismos de disposición, que implican un impacto económico para PDVSA, por lo tanto, el reuso de estos desechos se constituye en una propuesta innovadora.

La disposición que actualmente se le da a los fines de catalizador gastado de FCC mediante el método de co-procesamiento térmico no solo implica un gasto considerable para PDVSA sino que trae consigo algunas implicaciones ambientales, dado que al ser incinerado por la empresa “Industria Venezolana de Cemento” (INVECEM), genera emisiones atmosféricas al ambiente, por lo tanto el reuso del desecho como agregado para morteros de revestimiento, permitiría disminuir los costos de su disposición y evitaría generar afectaciones al ambiente, además de que por constituirse como un agregado de mezcla, permite a su vez, reducir las cantidades habituales de los agregados tradicionales (cemento y arena) requeridos, por lo que se ahorraría materia prima en el sector construcción.

Para Refinería El Palito es de suma relevancia la debida gestión 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 búsqueda de mejores y más eficientes alternativas para disponer estos desechos, ahorrando dinero, usando menos energía contaminante y reduciendo las afectaciones ambientales.

De acuerdo con lo anterior, para PDVSA es prioritario disponer los finos 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.

Se tiene conocimiento que dentro del circuito de refinación nacional, la experiencia en el manejo de los finos catalizador de FCC se centra en su disposición final en vertederos o rellenos sanitarios o su disposición por co-procesamiento térmico, por lo cual, la presente investigación resalta en importancia dado que con la búsqueda de una solución oportuna de reuso del desecho, se constituye en una mejor práctica operativa para PDVSA, que permitirá entonces concebirlo como un residuo.

### **1.5 ALCANCE**

La investigación se centra en evaluar el reuso de los finos de catalizador gastado de FCC de la Refinería El Palito como agregado en morteros para revestimiento, asumiendo que es un desecho con potencial recuperable de una fina granulometría y de composición sílico-aluminosa que le otorgan propiedades puzolánicas aprovechables dentro del área de estudio.

Para evaluar el reuso del referido desecho se hace necesario aunado a la respectiva caracterización de peligrosidad del mismo, dado que así lo demanda la legislación ambiental nacional para la recuperación de desechos industriales; la determinación de los ensayos y análisis de laboratorio para evaluar la proporción adecuada de los finos de catalizador gastado de FCC (considerando compatibilidad entre materias primas) que se necesita incorporar a la mezcla de arena, cemento y agua para obtener un mortero que en su estado seco y al ser aplicado como revestimiento, no genere afectaciones al ambiente y la salud humana.

La investigación pretende involucrar un análisis económico y ambiental que permita evidenciar las bondades que implica el reusar el desecho en vez de seguir disponiéndolo bajo método usado actualmente, y de esta manera considerarse como un residuo susceptible de ser valorizado económicamente.

## 1.6 LIMITACIONES

En Venezuela no existen estudios concretos que evidencien y demuestren la aplicabilidad del aprovechamiento de los finos de catalizador de FCC como agregado en morteros para revestimiento. Sabiendo que la composición básica del desecho es sílice y alúmina y con una fina granulometría, solo se tiene conocimiento de estudios previos sobre el aprovechamiento de este desecho en diferentes sectores industriales como es el caso de su aprovechamiento dentro de la industria ceramista, fabricación de pinturas, industria del aluminio, uso en mantos asfálticos, uso como agregado liviano y uso en la industria cementera.

Las implicaciones ambientales derivadas del uso y manipulación de los finos de catalizador gastado de FCC es un asunto sobre lo que no se tiene un sustento científico que sirva de antecedente para validar o rechazar su aprovechamiento.

Los resultados de los ensayos y pruebas de las propiedades de los finos de catalizador gastado de FCC permitirán desarrollar una propuesta de reuso que sugiere su aprovechamiento como agregado en morteros para revestimiento, sin embargo, queda a discreción de PDVSA la decisión de reusar el desecho de la manera sugerida por la investigación.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION**

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

Lobo, J. (2013) en la Universidad Bolivariana de Venezuela, desarrolló una investigación sobre un “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”, la misma argumentó que el catalizador gastado de FCC es un desecho no peligroso de acuerdo con su contenido de fluoruros y cloruros, así como en las corridas cromatográficas realizadas en muestra real para compuestos aromáticos policíclicos, análisis de metales en lixiviados y en muestrea real (exceptuando el cromo) según lo establecido en el Decreto N° 2.635.

La investigación resume que las empresas alfareras no pueden reusar y/o aprovechar los finos de catalizador gastado de FCC debido a que no generó la dureza aceptable en los productos elaborados, viéndose afectada su calidad debido a impurezas que alteran el aspecto estético y que además pudiesen generar reacciones químicas secundarias en los procesos industriales debido a 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.

De acuerdo con la misma investigación, el riesgo a la salud humana y al ambiente asociado a los finos de catalizador gastado de FCC no está en función de su manipulación por contacto directo, sino más bien por su capacidad de esparcimiento por el aire debido a su fina granulometría de 5 a 20 micrones, siendo esta una condición que puede controlarse usando el equipo de protección respiratorio adecuado.

El hecho de que la referida investigación haya argumentado no poder utilizar los finos de catalizador gastado de FCC para su reuso en el sector alfarero, deja un antecedente evidente que permite a PDVSA evaluar otras opciones de reuso y recuperación del mismo desecho, siendo muy conveniente no solo para Refinería El Palito, sino para el circuito de refinación nacional.

En febrero 2013 se celebró el encuentro N° 21 del Simposio Ambiental Japonés celebrado en Qatar, donde se trató lo relativo a “Soluciones de reuso de catalizador gastado de FCC” y se describió su potencial aprovechamiento en: manufactura de cemento, bloques huecos de albañilería, pavimentación con asfalto, concreto y componente base de mezcla para construcción; todo esto, de acuerdo a previos análisis de laboratorio sobre resistencia mecánica y durabilidad con resultados dentro de los límites ambientales permisibles.

El referido encuentro destacó el logro de la empresa petrolera de Omán, Orpic (Oman Oil Refineries and Petroleum Industries Company), la cual en cooperación con una empresa portuguesa de cemento, comenzaron en 2011 a reusar el catalizador gastado de FCC generado como desecho en la respectiva empresa petrolera.

Torres, J., Izquierdo S., Trochez, J., Mejía, R., (2012) en un estudio comparativo de pastas de cemento adicionadas con catalizador de craqueo catalítico usado FCC en Colombia, se encargaron de evaluar el desempeño de un residuo de una refinería de petróleo, como adición al cemento Portland con el fin de establecer la viabilidad de su aplicación en materiales de construcción. Se analizó la hidratación en pastas de cemento adicionadas con el catalizador de FCC, y se hizo una comparación con la adición de metacaolín (MK).

Para realizar el estudio, se prepararon pastas de cemento Portland Ordinario, adicionadas en porcentajes del 10 y 20% de FCC y MK como reemplazo de cemento. La actividad puzolánica de las adiciones y el tipo de productos de hidratación se determinaron mediante las técnicas de difracción de rayos X (DRx) y del análisis termogravimétrico (TG/DTG). Como fases principales del proceso de hidratación en las

pastas adicionadas con FCC se encontraron silicatos cálcicos hidratados (CSH), aluminatos cálcicos hidratados (CAH), y silico-aluminatos cálcicos (CASH), productos similares a los obtenidos en pastas adicionadas con metacaolín.

A partir de los resultados, se concluyó que el residuo de catalizador de craqueo catalítico evaluado, presenta una alta reactividad que se vio reflejada en el consumo del hidróxido de calcio proveniente de la hidratación del cemento; este comportamiento mejoró con el porcentaje de adición y el tiempo de curado. Con los resultados obtenidos, se comprobó la efectividad puzolánica del residuo FCC, lo cual corrobora las ventajas de su aplicación en morteros y concretos.

Es importante indicar que la utilización de este material tiene un efecto ambiental doble, debido a la posible disminución en el consumo de cemento y el uso que se le puede dar a un residuo industrial, que en la actualidad está siendo dispuesto en rellenos. En especial para Colombia, esta aplicación es importante, al permitir la valorización de este residuo industrial y su potencial aplicación en el sector de la construcción.

Bastos et al (2011), en un estudio desarrollado a través de PDVSA-Intevep y titulado: "Caracterización química de catalizadores gastados de las unidades de craqueo catalítico (FCC) de las refinerías de El Palito y Amuay, para estudiar su potencial utilización en la formulación de lechadas de cemento para pozos de hidrocarburos y/o gas", argumentan que en PDVSA Intevep se han realizados estudios sobre la evaluación de materiales puzolánicos en lechadas de cemento, utilizando para ello arcillas calcinadas y zeolitas gastadas. Aún cuando ambos materiales tienen composición similar y están disponibles en el país, el uso de los catalizadores gastados presentan ventajas tales como, la baja o nula necesidad de someter el material a un proceso secundario de activación (no se requiere calcinación, molienda o tamizado). Es un material disponible en la industria, cuya composición y tamaño de partícula otorga alta reactividad.

La investigación refiere que a partir de los estudios realizados, se puede concluir que el origen y los distintos procesos a los que han sido sometidos los catalizadores no presentan diferencia en composición y reactividad puzolánica. Por lo tanto, los residuos

de catalizador estudiados pueden ser utilizados de forma independiente o en mezclas en la formulación de lechadas, considerando el material como producto de sustitución hasta 20% y que para esta concentración muestran una satisfactoria activación química con el hidróxido de calcio  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$  producido durante la etapa de hidratación de las lechadas de cemento Portland.

En resumen, la investigación argumenta que los residuos de catalizadores procedentes de las refinerías de El Palito y Amuay pueden ser mezclados o usarse independientemente como sustitutos del cemento Portland en lechadas de cemento para pozos de abandono ya que al ser caracterizados, su composición química y propiedades físicas no afecta su actividad puzolánica. Según los resultados obtenidos del estudio se concluye que los desechos de catalizadores de las refinerías de El Palito y Amuay pueden ser sustituidos hasta en un 20% de la cantidad de cemento Portland requerido en una lechada de cemento.

Trochez et al (2010) de la Universidad de Antioquia-Colombia, en una investigación titulada: Estudio de la hidratación de pastas de cemento adicionadas con catalizador de craqueo catalítico usado (FCC) de una refinería colombiana, analizaron el efecto de la incorporación de un residuo industrial de una refinería de petróleo colombiana, conocido como catalizador de craqueo catalítico usado (FCC), en el proceso de hidratación de pastas cementicias. Para tal efecto, se prepararon pastas de cemento Portland ordinario (OPC) adicionadas en porcentajes del 10 y 20% de FCC como reemplazo de la cantidad de cemento.

La investigación refiere que la reactividad puzolánica del material y el tipo de productos de hidratación se determinó mediante difracción de rayos X (DRX) y análisis termogravimétrico (TG/DTG). Adicionalmente, se determinó el calor de hidratación liberado con base en la norma ASTM C186. Los resultados indican que el proceso de hidratación de pastas adicionadas con FCC es altamente exotérmico como consecuencia de su actividad puzolánica a cortas edades.

Los productos de hidratación formados a partir de la reacción puzolánica del FCC son el gel de silicato cálcico hidratado (CSH), la etringita, aluminatos cálcicos hidratados (CAH) y silicoaluminatos cálcicos hidratados (CASH), siendo estos productos similares a los que se forman en un sistema metacaolín-cemento.

Se confirma además, la potencial utilización de este material como adición al cemento Portland, para la producción de morteros y concretos de altas prestaciones y su aplicación reviste importancia al permitir la valorización de un residuo industrial.

Torres, N. y Torres, J. (2010), en un artículo publicado sobre el uso del catalizador gastado de craqueo catalítico (FCC) como adición puzolánica, concentran su estudio en la descripción del catalizador usado (FCC), donde se reportan las investigaciones realizadas al respecto cuando éste es utilizado como reemplazo de material cementante. Argumentan que su uso es importante desde el punto de vista ambiental y económico, pues además de ser un residuo industrial, su inclusión en las mezclas como reemplazo de material cementante llevará al desarrollo de concretos de alto desempeño. De allí su interés a nivel local y mundial.

El artículo refiere que se han llevado a cabo análisis comparativos del catalizador usado de FCC con respecto al metacaolín (MK) y argumenta que Payá J. et al. en 2003, establecieron que el catalizador usado de FCC es similar al MK tanto en su composición química como en su actividad puzolánica y señalan que esta comparación fue realizada en pastas de cemento, encontrando un porcentaje óptimo del 15 al 20% de reemplazo de cemento por FCC.

Se concluye que el catalizador gastado de FCC es un material puzolánico muy activo, el cual presenta alta reactividad a edades tempranas y su uso o inclusión en morteros y concretos de cemento Portland, contribuye a mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad de estos materiales. Los productos de hidratación en pastas de cemento adicionadas con catalizador usado de FCC son muy similares a los producidos en un sistema cemento- metacaolín.

El artículo expone que entre los productos de reacción se mencionan CSH, CAH y CASH, de ahí que el comportamiento mecánico de los morteros adicionados con catalizador usado de FCC sea similar o aún superior a los adicionados con MK y también expresa que los resultados expuestos contribuirán a la conservación y preservación del medio ambiente, así como a la obtención de mejores prestaciones en morteros y concretos de cemento adicionados con este residuo.

El potencial aprovechable de los finos de catalizador gastado de FCC dado su composición silico-aluminosa es evidenciado para diversas aplicaciones como por ejemplo se expresa en el estudio de Basaldella E. en 2010 sobre la síntesis de compuestos zeolíticos y materiales relacionados para su empleo en procesos de purificación de medios fluidos mediante técnicas de adsorción e intercambio iónico, donde se argumenta que la zeolita MCM-22, es un material de última generación y que reviste potenciales aplicaciones como base para la obtención de catalizadores o adsorbentes en procesos químicos medioambientales.

La investigación plantea la utilización de catalizadores FCC agotados como materia prima la síntesis de zeolitas aluminosilíceas. Se realizan modificaciones en el proceso de síntesis con el objeto de dirigir la cristalización hacia la obtención de un sólido rico en zeolita tipo A, X o Y para probar su eficiencia en la eliminación de cationes  $\text{Cr}^{+3}$  de soluciones acuosas mediante técnicas de intercambio catiónico. A su vez se propone inmovilizar el cromo a través de la inclusión del sólido producto del intercambio iónico en matrices cementíceas.

La investigación referida sugiere que el contenido de sílice y alúmina y las propiedades zeolíticas de catalizadores agotados, le revisten de utilidad para diversos fines industriales, razón por la cual la presente investigación sustenta el reuso de los finos de catalizador gastado de FCC en un proceso diferente al de su génesis, es decir, para aprovechamiento como agregado en morteros de revestimiento.

Paya, J. et al en 2009 en España, en una investigación titulada: Estudio del comportamiento de diversos residuos de catalizadores de craqueo catalítico (FCC) en

cemento Portland, expresan que el catalizador de craqueo catalítico (FCC) es un residuo de la industria del petróleo que posee una elevada reactividad puzolanica y en matrices cementicias mejora de manera importante los aspectos mecánicos, así como de durabilidad. En este trabajo se realiza un estudio comparativo sobre residuos de catalizador de distintos orígenes, para poder conocer si se pueden utilizar conjuntamente de forma indiscriminada o por el contrario hay que catalogarlos según su origen.

Se realizó un estudio sobre cinco residuos de catalizador de craqueo catalítico distintos, suministrados por diferentes empresas y se estudiaron sus características fisicoquímicas, reactividad puzolánica a través de estudios termogravimétricos y la evolución de las resistencias mecánicas en morteros. Tras analizar todos los aspectos se concluye que no existen diferencias entre los distintos catalizadores empleados.

De los estudios realizados a los cinco residuos de catalizador en cuanto a caracterización, reactividad puzolánica en pastas y resistencia mecánica en morteros, se concluye que el origen y los distintos procesos a los que han sido sometidos los catalizadores no provocan distinto comportamiento, ya que los cinco materiales estudiados presentan una reactividad puzolánica similar. Por ello, todos los residuos de catalizador estudiados son válidos para ser utilizados como adición mineral activa en la fabricación de morteros y hormigones. La investigación sustenta las propiedades puzolánicas del catalizador de FCC, lo cual lo reviste en importancia por considerarse un agregado que pudiese adicionarse a mezclas con cemento para su aprovechamiento y solucionando el problema ambiental que implica la disposición final del desecho que además trae consigo un elevado impacto económico considerable.

## **2.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

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 Figura N° 1), ocupando una amplia extensión costera, dentro de la cuenca de los ríos Sanchón y Aguas Calientes.

**Figura N° 1.- Vista de planta de Refinería El Palito**



Fuente: Sistema Satelital Internacional Google Earth. Vista de Planta de la Refinería El Palito. (2014).

Según la Superintendencia de Programación y Economía en 2013, 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 mas 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).

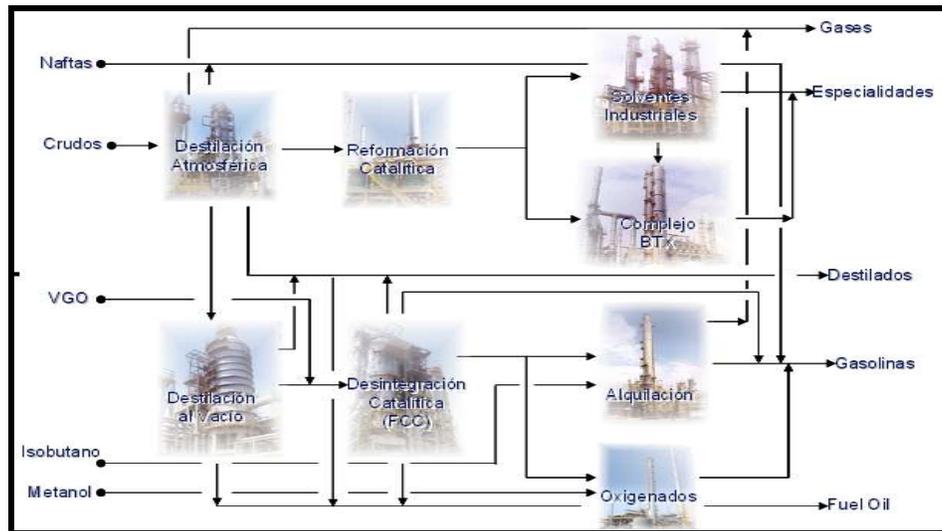
El proceso productivo de Refinería El Palito, según la Superintendencia de Ingeniería de Procesos en 2012, está integrada por las siguientes unidades productivas:

- **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 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).
- 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 la Figura N° 2, mostrada a continuación.

**Figura N° 2: Unidades de Producción en Refinería El Palito**



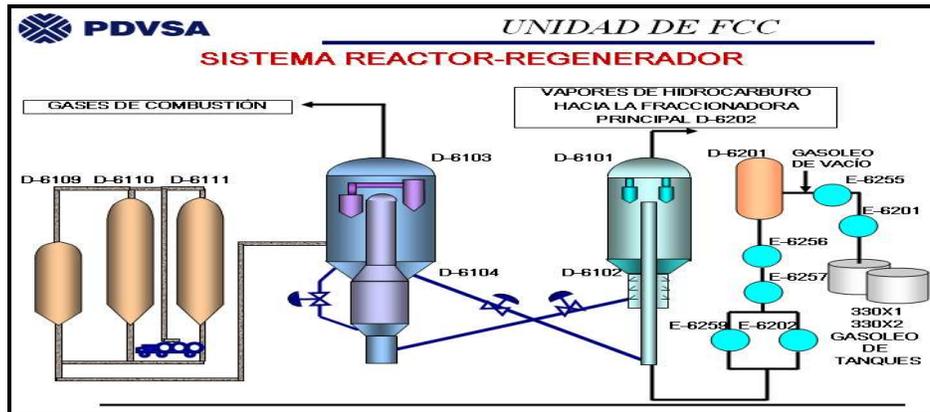
Fuente: Superintendencia de Programación y Economía. REP (2014).

Una vez referenciado el ciclo productivo de Refinería El Palito y considerando que el catalizador de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) de la Refinería El Palito de PDVSA, posee un elevado contenido de alúmina en su composición y previene 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 que estudia la presente investigación, con la cual se busca, ubicar una alternativa de su recuperación o reuso como agregado de morteros para revestimiento debido a la presencia de materiales con propiedades puzolánicas (alúmina y sílice) que pueden servir de materia prima en la mezcla con cemento y arena.

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 Figura N° 3).

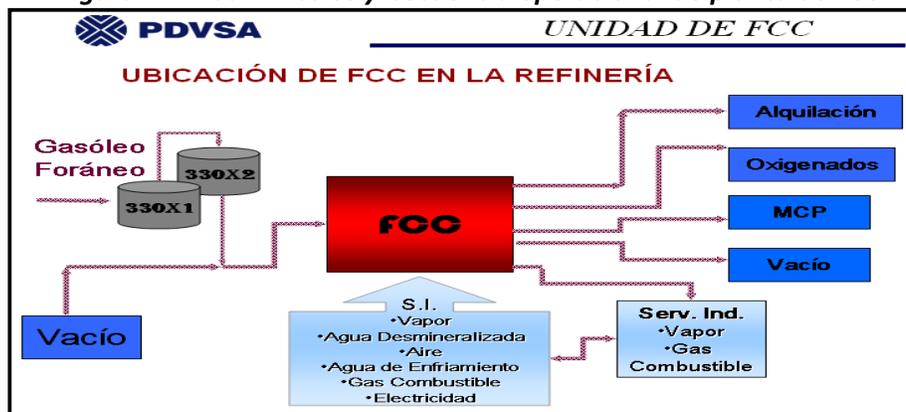
**Figura N° 3. Unidad de FCC-Sistema Reactor Regenerador**



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 alquilación y oxigenados. (Ver Figura N° 4). 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.

**Figura N° 4. Suministros y secuencia operacional de planta de FCC**



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

### ***Tipo de catalizador utilizado***

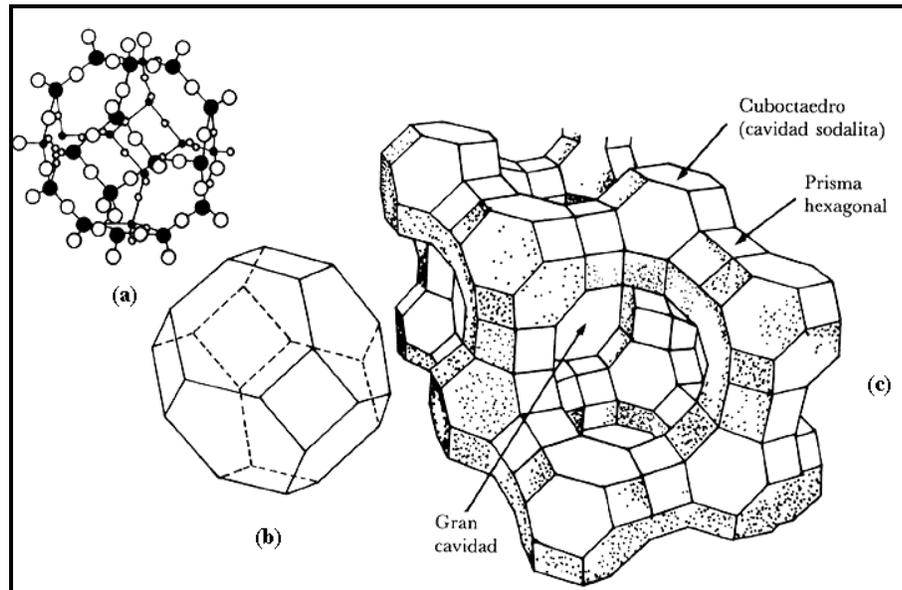
El catalizador de la Unidad de FCC, según el Manual de Refinación, es el corazón del proceso, se fabrica en forma esférica y cuando se desgasta a finos (catalizador gastado), se convierte en un polvo fino con un diámetro promedio de partícula en el rango de 5 a 20 micrones ( $\mu\text{m}$ ). Un catalizador 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 mismo.

Según Mora, las zeolitas (aluminosilicatos con alto orden estructural) tienen poros con dimensiones en el orden de los nanómetros ( $10^{-9}\text{m}$ ), 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  $\text{AlO}_4$  y  $\text{SiO}_4$  unidos por un oxígeno compartido. Las principales zeolitas utilizadas en FCC son las faujasitas del tipo X, Y, pudiéndose ver en la Figura N° 5 sobre “Estructura de una zeolita faujasita” y ZSM-5, mostrada en la Figura N° 6. “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.

**Figura N° 5. 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 octaedros unidos forman a la zeolita faujasita (c)

Fuente: Sánchez, E. (1994).

**Figura N° 6. Clasificación de algunas zeolitas**

		Volumen de poro *
<i>Grupo de las analcimas</i>		
Analcimas	$\text{Na}_{16} (\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.18
Wairakita	$\text{Ca}_8 (\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.18
Leucita	$\text{K}_{16} (\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96})$	0
<i>Grupo de las natrolitas</i>		
Natrolita	$\text{Na}_{16} (\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.21
Edingtonita	$\text{Ba}_2 (\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) 6\text{H}_2\text{O}$	0.35
Thomsonita	$\text{Na}_4\text{Ca}_8 (\text{Al}_{20}\text{Si}_{20}\text{O}_{80}) 24\text{H}_2\text{O}$	0.32
<i>Grupo de las filipsitas</i>		
Filipsita	$(\text{K},\text{Na})_5 (\text{Al}_5\text{Si}_{11}\text{O}_{32}) 10\text{H}_2\text{O}$	0.30
Garronita	$\text{NaCa}_{2.5} (\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}) 14\text{H}_2\text{O}$	0.41
Gismondina	$\text{Ca}_4 (\text{Al}_8\text{Si}_8\text{O}_{32}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.47
<i>Grupo de las heulanditas</i>		
Heulandita	$\text{Ca}_4 (\text{Al}_8\text{Si}_{20}\text{O}_{72}) 24\text{H}_2\text{O}$	0.35
Clinoptilolita	$\text{Na}_6 (\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) 24\text{H}_2\text{O}$	0.34
Estilbita	$\text{Na}_2\text{Ca}_4 (\text{Al}_{10}\text{Si}_{20}\text{O}_{72}) 32\text{H}_2\text{O}$	0.38
<i>Grupo de las mordenitas</i>		
Mordenita	$\text{Na}_8 (\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) 24\text{H}_2\text{O}$	0.26
Ferrierita	$\text{Na}_{1.5}\text{Mg}_2 (\text{Al}_{5.5}\text{Si}_{30.5}\text{O}_{72}) 18\text{H}_2\text{O}$	0.24
Epistilbita	$\text{Ca}_3 (\text{Al}_6\text{Si}_{18}\text{O}_{48}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.34
<i>Grupo de las chabasitas</i>		
Chabasita	$\text{Ca}_2 (\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}) 13\text{H}_2\text{O}$	0.48
Erionita	$(\text{Ca},\text{Mg},\text{Na},\text{K})_{4.5} (\text{Al}_5\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) 27\text{H}_2\text{O}$	0.36
Zeolita L	$\text{K}_6\text{Na}_3 (\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) 21\text{H}_2\text{O}$	0.28
<i>Grupo de las faujasitas</i>		
Faujasitas (X, Y) —	$\text{Na}_{12}\text{Ca}_{12}\text{Mg}_{11} (\text{Al}_{39}\text{Si}_{33}\text{O}_{384}) 26\text{H}_2\text{O}$	0.53
Zeolita A	$\text{Na}_{12} (\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}) 27\text{H}_2\text{O}$	0.47
Zeolita ZK-5	$\text{Na}_{30} (\text{Al}_{30}\text{Si}_{60}\text{O}_{192}) 98\text{H}_2\text{O}$	0.45
<i>Grupo de las laumontitas</i>		
Laumontita	$\text{Ca}_4 (\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.35
Yugawaralita	$\text{Ca}_4 (\text{Al}_8\text{Si}_{20}\text{O}_{56}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.30
<i>Grupo de las pentasil</i>		
Zeolita ZSM-5 } —	$\text{Na}_n (\text{Al}_n\text{Si}_{96-n}\text{O}_{192}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.32
Zeolita ZSM-11 }		

\*  $\text{cm}^3$  de agua/ $\text{cm}^3$  de cristal.

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.

### ***Catalizador gastado de FCC y componentes de un mortero para revestimiento***

El catalizador gastado de la unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC), es básicamente un material de sílico-aluminoso, que se puede considerar como una arcilla refractaria con 80% de alúmina, siendo un sólido particulado de color gris, con una granulometría entre 5 micrones a 20 micrones.

Durante el craqueo de hidrocarburos pesados en el proceso de FCC, según el Manual de Refinación de Refinería El Palito, 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  $\text{CO}_2$  y ayudando al balance térmico de la unidad.

Es sabido que el catalizador gastado de FCC por su composición sílice-aluminosa posee propiedades puzolanicas, por lo tanto, Salazar A. (2012), refiere que una puzolana es un material esencialmente silíceo o aluminosilíceo que finamente dividido no posee ninguna propiedad hidráulica por sí sola, pero posee constituyentes (sílice - alúmina) capaces, a la temperatura ordinaria, de fijar el hidróxido de cal para dar compuestos estables con propiedades hidráulicas y conglomerantes.

Es considerable referir que las puzolanas se han utilizado históricamente para producir cemento, desde la antigüedad romana hasta la invención del cemento Pórtland en el siglo XIX.

Las puzolanas pueden clasificarse:

- *Puzolanas naturales*: Materias de origen volcánico y materias sedimentarias de origen animal o vegetal.
- *Puzolanas artificiales*: Materias tratadas (tratamiento térmico 600 y 900°C), subproductos de fabricación industrial, cenizas volantes, humo de sílice, arcillas naturales (subproductos de la industria del ladrillo cocido), ceniza de cascarilla de arroz y escorias granuladas de industrias metálicas no ferrosas

Por lo general las propiedades puzolánicas son utilizadas ampliamente para la elaboración de cementos, y de acuerdo con Cortés V (2012), España es un caso de ejemplo donde se utiliza para elaboración de cemento puzolánico donde la proporción de puzolana empleada puede ser de hasta 55% según regulaciones locales. De acuerdo con esto es importante inferir que las propiedades puzolánicas que le confieren al cemento puzolánico ventajas sobre el cemento tradicional son las siguientes:

- Mayor defensa frente a los sulfatos y cloruros.
- Mayor resistencia frente al agua de mar.
- Aumento de la impermeabilidad ante la reducción de grietas en el fraguado.
- Reducción del calor de Hidratación.
- Incremento en la resistencia a la compresión.
- Aumenta la resistencia a la abrasión.
- Aumento en la durabilidad del cemento.
- Disminuye la necesidad de agua
- Reducción de la porosidad (mejora la impermeabilidad).
- Mejora la adherencia del mortero.

Según, Soriano (2007), el uso de puzolanas y materiales cementantes en la industria del cemento y del hormigón ha ido cobrando importancia cada vez mayor en las últimas

décadas, siendo varios los beneficios conseguidos con su uso y destacándose la mejora de las resistencias mecánicas, el aumento de la durabilidad y en muchos casos beneficios económicos y ecológicos. Se considera que en el futuro, un hormigón sin adiciones puzolánicas o materiales cementantes sería una excepción a la regla.

Además el uso de estos materiales residuales puzolánicos supone un beneficio ambiental doble, por un lado en sustituir parte del cemento cuya fabricación produce emisiones de dióxido de carbono, y por otro lado el consumo de los materiales residuales de otros procesos industriales, que de no utilizarse, tendrían que almacenarse en verteros controlados o rellenos sanitarios.

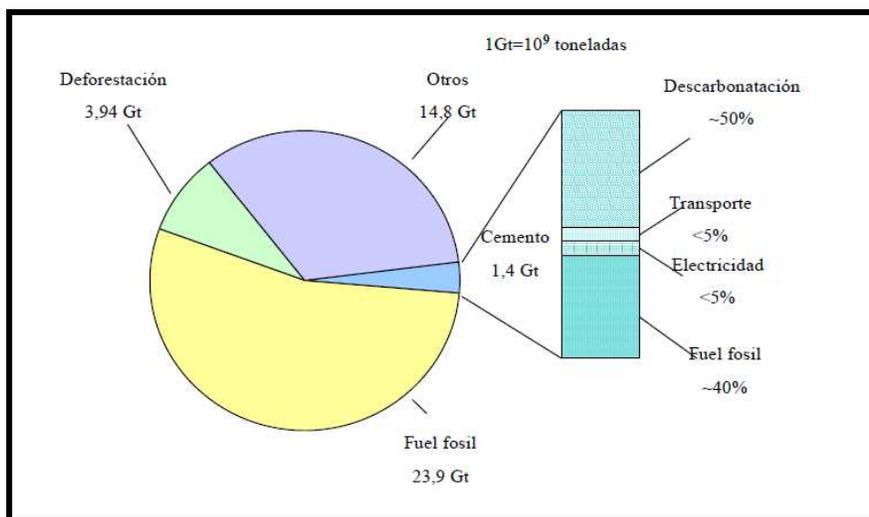
Según Viewpoint (1998), el CO<sub>2</sub> pertenece al denominado grupo GHG (greenhouse gas, gases invernaderos) que son en parte responsables del temido cambio climático, y desde hace unos años se está intentando conseguir que disminuya su emisión, con restricciones impuestas a nivel internacional, recogidas entre otros tratados por el Protocolo de Kyoto. La comunidad científica internacional estima que en los próximos 100 años la temperatura media global de planeta subirá entre 1,4-5,8°C., según Rehan y Hendi (2005).

La industria del cemento es uno de los mayores emisores de los GHG, particularmente del CO<sub>2</sub>. La producción de cemento es un proceso que utiliza mucha energía y que por cada tonelada de cemento Pórtland producido libera aproximadamente una tonelada de CO<sub>2</sub>.

La emisión de SO<sub>2</sub> es también elevada, dependiendo del tipo de combustible usado, además se emiten a la atmósfera cantidades menores de NO<sub>x</sub> y CH<sub>4</sub> durante la producción de cemento. El consumo de energía es del orden de 100-1.500 Kwt/Ton de cemento producido, según Anand (2006).

A continuación en la Figura N° 7 se muestra la emisión global de CO<sub>2</sub> en el año 2000 y la contribución de la producción de cemento.

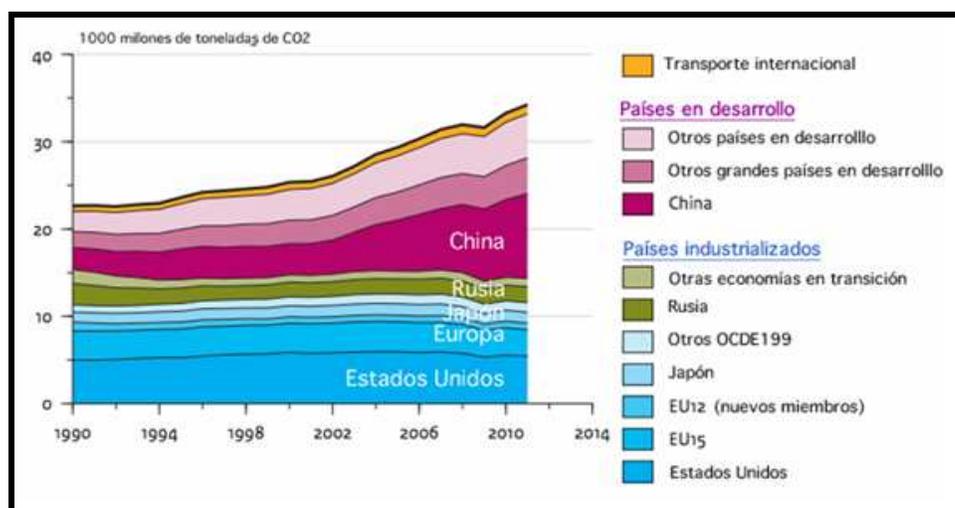
**Figura Nº 7. Emisión global de CO2 en el año 2000.**



Fuente. Soriano (2007), adaptado de "Toward a Sustainable Cement Industry: Climate Change, Substudy, Humphrey K, y Mahasenan M., 2002.

La producción de CO2 a nivel mundial por concepto de quema de combustibles fósiles y fabricación del cemento para el periodo 1990-2011 se muestran en la Figura Nº 8

**Figura Nº 8. Producción de CO2 por quema de combustibles fósiles y fabricación de cemento.**



Fuente: [http://antonuriarte.blogspot.com/2012\\_07\\_01\\_archive.html](http://antonuriarte.blogspot.com/2012_07_01_archive.html), 2012).

De acuerdo con referido en líneas anteriores, las propiedades puzolánicas le confieren a los finos de catalizador gastado de FCC como desecho industrial, la particularidad de sustituir al cemento en una relación de mezcla que la presente investigación describe, asumiendo su uso como agregado de morteros para revestimiento.

De acuerdo con lo anterior, según Medrano, K. (2010), se conoce como revestimiento a “todo elemento superficial que aplicado sobre la cara de otro elemento constructivo, mejora su aspecto estético y otras propiedades”. El revestimiento se aplica con la finalidad de cubrir superficies, transfiriéndole unas cualidades que el soporte base por si mismo no tiene, o bien mejorando las propiedades del mismo, debiendo resistir el ataque de agentes o productos químicos e impactos o desgaste por abrasión, ser impermeable, además de tener función estética y protectora.

De acuerdo con lo referido, se resume que dentro de la presente investigación, se concibe al revestimiento como una función del mortero que en su estado plástico es aplicado como recubrimiento para proteger o adornar una superficie.

En línea con lo anterior, un mortero se define como la mezcla compuesta de una o varios conglomerantes orgánicos, áridos, y a veces de adiciones y/o aditivos, que sólo requiere en el lugar de su aplicación la añadidura del agua necesaria para su correcto amasado y el desarrollo de todas sus propiedades (Grupo Cementos Portland Valderrivas, 2010).

Las propiedades de un mortero de cemento que dentro de la investigación están sujetas a estudio y observación son, en su estado plástico, (la manejabilidad) y en su estado seco: resistencia a la compresión, adherencia a la tracción, durabilidad y apariencia.

De acuerdo con la Asociación Nacional de fabricantes de Mortero Seco en España. (2010), se concibe que la manejabilidad es la medida de la facilidad de colocación de la mezcla, relacionada directamente con la consistencia o su fluidez en tanto que este dura o blanda.

La resistencia a la compresión es una propiedad mecánica relacionada a la cohesión interna del mortero e indica así su capacidad de soportar presiones sin disgregarse.

La adherencia a la tracción es la capacidad que tiene el mortero para absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie de unión con la estructura, la cual determina si puede resistir cargas transversales, excéntricas y pandeo. Para optimizar esta capacidad se recomienda que la mampostería en la superficie de unión sea rugosa

La durabilidad es la resistencia del mortero a los agentes externos como la temperatura, agua, retracción, eflorescencia, abrasión, agentes corrosivos y choques térmicos sin deterioro de sus condiciones físico-químicas.

La apariencia se refiere al aspecto estético del mortero en obra que se coloca como revestimiento y al acabado del mismo.

### ***Consideraciones generales sobre catalizadores gastados y posibles tratamientos de disposición.***

De acuerdo con la Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y El Caribe (ARPEL) en 2008, 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 la investigación, el catalizador gastado

de FCC ya ha pasado por una etapa de regeneración que le desprende el coque formado a los mismos.

En Refinería El Palito, de acuerdo a previas caracterizaciones realizadas a los fines de catalizador gastado de FCC, éste se constituye en un desecho inerte y no peligroso, siendo 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. Sin embargo, PDVSA como corporación, ha aprobado en febrero del 2014 gracias al Comité Técnico de Normas Ambientales (CNTA), la norma MA-01-02-11 "Gestión integral de materiales peligrosos recuperables y desechos peligrosos" donde cataloga al catalizador gastado de FCC como un desecho peligroso recuperable, refiriendo que una estrategia en su manejo se orienta a su regeneración, reuso o reciclado.

Lo anterior permite evidenciar que existe una inconsistencia de criterios en la homologación de la clasificación del desecho, pero que sin embargo, indistintamente de su acepción como desecho peligroso o no, el mismo de por sí, posee características recuperables que determinan su reuso.

La acepción del desecho como peligroso recuperable de la actual y aprobada norma PDVSA MA-01-02-11, afianza más la aprobación de su manejo dentro de la industria cementera bajo co-procesamiento, siendo una situación que la presente investigación permitiría cambiar.

Siguiendo la discusión sobre la clasificación del desecho, se refiere que en algunas oportunidades ha sido dispuesto de forma final en el vertedero La Paraguita de Morón-edo. Carabobo, de acuerdo a caracterizaciones previas que han indicado su condición no peligrosa.

En función de lo anterior, el Decreto N° 2.216 refiere una definición de desecho, como la siguiente: "Material o conjunto de materiales resultantes de cualquier proceso u

operación que esté destinado al desuso, que no vaya a ser utilizado como materia prima para la industria, reutilizado, recuperado o reciclado”.

Retomando la definición anterior, el Decreto N° 2.635, refiere que un desecho es un “material, sustancia, solución, mezcla u objeto para los cuales no se prevé un destino inmediato y deba ser eliminado o dispuesto en forma permanente.

Siguiendo con lo relativo al manejo del catalizador gastado de FCC como un desecho, se refiere que retomando los planteamientos de ARPEL (2008), todos los recipientes contentivos de catalizadores gastados enviados para disposición final fuera de las instalaciones de la refinería asociada como fuente generadora, deben estar claramente etiquetados señalando el tipo de contenido y las precauciones sobre la salud, seguridad.

En cuanto a los mecanismos de su disposición, es de referir según la citada fuente, que 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 por su parte, es un método que 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 desecho, sino un residuo sólido, siendo una práctica que aún prevalece, el vender éstos catalizadores gastados 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.

De acuerdo con lo anterior, la Ley de Gestión Integral de la Basura de 2010, refiere que un residuo sólido es un “material remanente o sobrante de actividades humanas, que por sus características físicas, químicas y biológicas puede ser utilizado en otros procesos.

Considerando todas las anteriores argumentaciones referidas por ARPEL en 2008, y considerando la definición del catalizador gastado de FCC como un residuo sólido, se expresa también, dentro del mismo orden de ideas, que la eliminación del desecho 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 Portland. 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%.

Retomando lo anterior, el objetivo clave en la investigación es determinar la proporción idónea de catalizador gastado de FCC así como la mezcla adecuada con componentes como el cemento, agua y arena, para el reuso del desecho como agregado de morteros para revestimiento. Ello permitirá a Refinería El Palito como unidad generadora del desecho, considerar no seguir disponiendo el desecho mediante la técnica de por co-procesamiento térmico, sino más bien, reusarlo y así contribuir a la conservación ambiental.

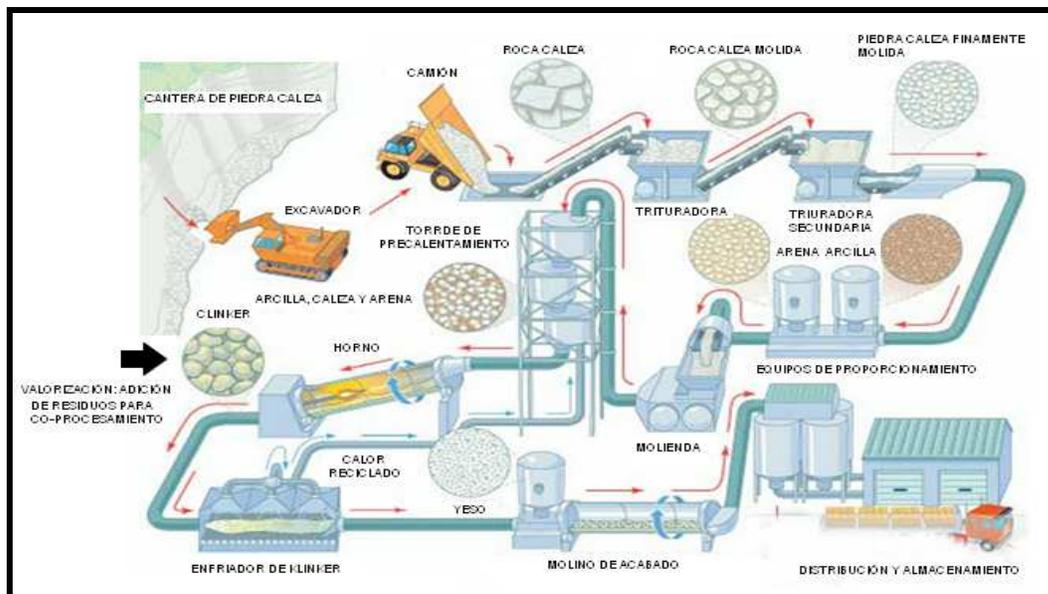
De acuerdo con lo anterior, Thomas, R. (2009), define al co-procesamiento térmico como el uso y aprovechamiento de residuos como materia prima o fuente de energía (sirviendo como combustible alternativo) en procesos industriales (elaboración del clínker del cemento), para el reemplazo de recursos naturales no renovables, como minerales y combustibles fósiles, tales como carbón, petróleo o gas natural.

Según Geocycle (2010), el co-procesamiento se aprovecha de la energía y los minerales que están presentes en los residuos, consiguiéndose en un mecanismo en donde las cenizas generadas se integran al proceso de fabricación de cemento, pero generando gases contaminantes con restos de material particulado. Estas características son la

principal diferencia entre en co-procesamiento y la incineración convencional. En esta última los residuos generan cenizas que posteriormente requieren un tratamiento seguro.

De acuerdo con lo anterior, la Figura N° 9, muestra el proceso de fabricación del cemento, donde se evidencia la valorización de desechos debido a su adición en la mezcla para la obtención del clínker del cemento.

**Figura N° 9. Proceso de Fabricación del cemento**



Fuente: Enciclopedia Británica (2007).

### **Manejo actual del catalizador gastado de FCC en Refinería El Palito.**

PDVSA Refinería El Palito anualmente posee una disponibilidad financiera para la compra de catalizador nuevo que es indispensable para el proceso de Craqueo Catalítico Fluidizado FCC, y luego derivado del proceso respectivo, el catalizador se desgasta en finos, constituyéndose en un desecho al cual se le debe ser manejado.

Hasta el momento el manejo del catalizador gastado de FCC en PDVSA Refinería El Palito, se realiza por disposición final en el Verterlo La Piragüita-Morón (en caso de emergencias) pero primordialmente mediante la técnica de co-procesamiento térmico,

siendo una situación que puede cambiar lentamente, al ir encontrando el reuso del desecho en otros sectores industriales.

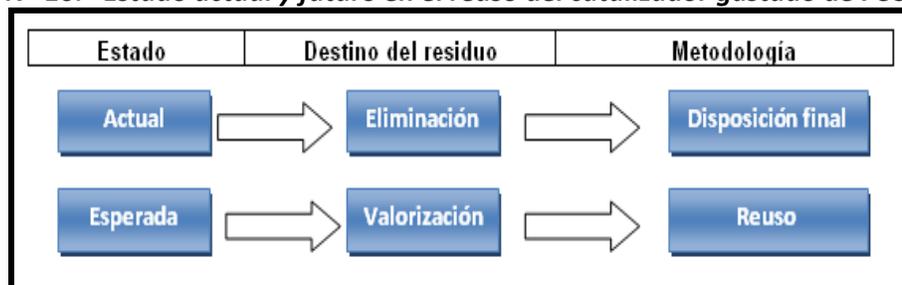
El reuso del catalizador gastado de FCC permite concebirlo como un residuo con potencial valorizable, para lo cual, PDVSA Refinería El Palito pudiese considerar no continuar disponiéndolo como un desecho mediante la técnica de co-procesamiento térmico a través de la cementera estatal INVECEM.

Retomando lo anterior, al respecto la Fundación Cema-España (2012) en su página Web conceptualiza la valorización como “cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil”.

De igual forma, en el Informe de Gestión del Gobierno de Navarra-España del año 2012 expresa: “La valorización es cualquier operación cuyo resultado material sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función, en la instalación o en la economía en general.”

De acuerdo con la definición anterior, la Figura N° 7, muestra el estado actual y futuro en el reuso de los finos de catalizador gastado de FCC

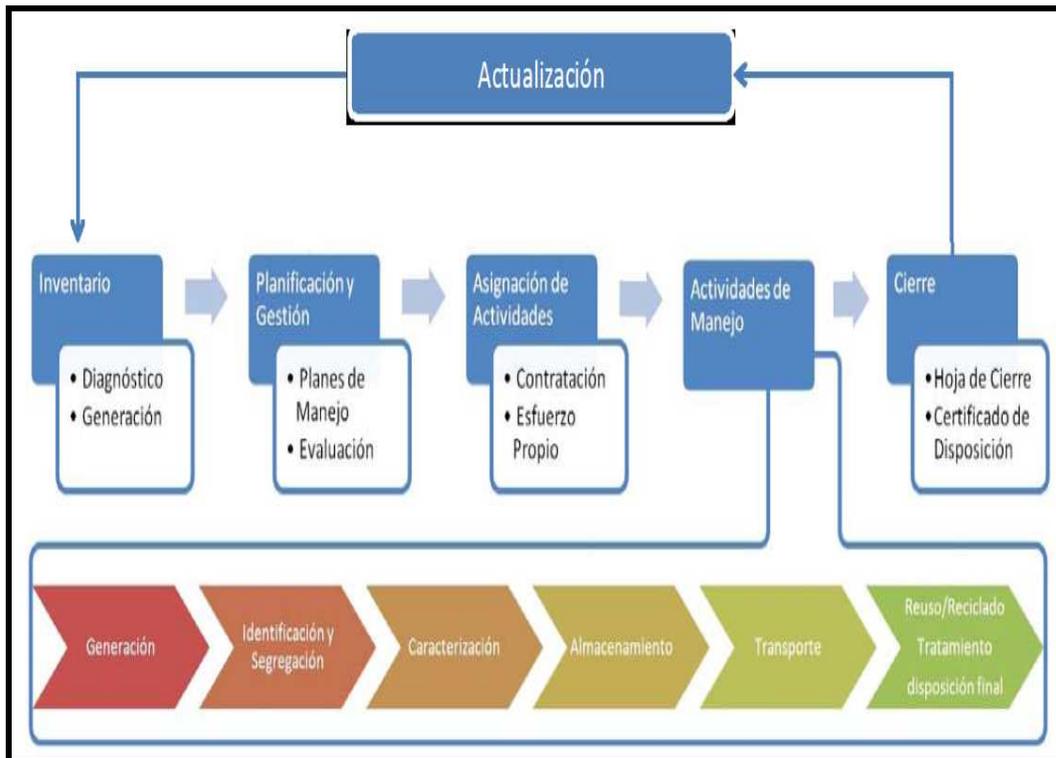
**Figura N° 10. Estado actual y futuro en el reuso del catalizador gastado de FCC**



Fuente: El Autor (2014).

Dentro de PDVSA, según la norma MA-01-02-11 “Gestión integral de materiales peligrosos recuperables y desechos peligrosos”, el esquema en el manejo de desechos como los finos de catalizador gastado de FCC debe ser el siguiente:

**Figura N° 11. Gestión integral de desechos en PDVSA.**



Fuente: Norma PDVSA MA-01-02-11 (2014).

### **Producción de cemento en el mercado nacional e internacional y la importancia del uso de sustitutos.**

De acuerdo con una nota de prensa emitida por la Agencia Venezolana de Noticias en (2012), los reportes del Banco Central de Venezuela indican que la producción acumulada de cemento en Venezuela entre agosto 2011 – agosto 2012 fue de 8.275.893 Ton, la cifra más alta registrada para este sector en un periodo de doce meses.

El consumo per cápita de cemento es medido por el número de kilos consumidos por habitantes en un año determinado. Para el año 2000, el consumo per cápita-año se ubicaba en 159 Kg/hab-año. Se vio seriamente disminuido en el año 2002-2003 debido al paro patronal y sabotaje petrolero cerrando para ese año a 106 Kg/hab-año.

El repunte de los niveles de producción gracias a las inversiones en mejoras operativas en plantas y a la política nacional de fortalecer el consumo nacional, el consumo per cápita de cemento se incremento para el año 2012 a 286 Kg/hab-año. Mediante las inversiones aprobadas se prevé incrementar para el año 2015 hasta 383 Kg/hab-año.

Gracias a esto, la capacidad nominal de producción de cemento se ubicará en el año 2015 a 12,89 MMTon/año. Teniendo como meta para el año 2019 contar con una capacidad productiva nacional que permita llevar el consumo per cápita a 500 Kg/hab-año lo cual permitirá asegurar este producto estratégico a las obras de infraestructura, las grandes misiones del gobierno revolucionario y el acceso a toda la población.

Es sabido que Venezuela redujo a cero sus exportaciones de cemento y que antes de la nacionalización de la industria cementera, se exportaba el 51% del cemento producido en Venezuela, pero a partir de 2008, la producción de cemento se destina totalmente para el mercado nacional.

Se conoce que Venezuela cuenta con 9 plantas cementeras y ocho pertenecen al Estado venezolano, y que la mayor proporción de cemento se destina a las obras sociales del gobierno, quedando poca disponibilidad para el sector construcción privado y menos para particulares que requieren de dicho insumo.

La sustitución del cemento en obras civiles por desechos aprovechable como el catalizador gastado de FCC, en una proporción de mezcla que la investigación describe, es una propuesta a futuro, luego de investigaciones profundas al caso, que se traduce en un beneficio no solo ambiental, sino también social, por cuanto contribuirá a solventar la situación actual de la escasez de cemento.

De acuerdo con la Federación Interamericana de Cemento (2013), el consumo de cemento para América Latina y el Caribe en el periodo 2010-2012 ha venido en aumento, y se refleja en la siguiente Figura N° 12.

**Figura N° 12. Consumo de cemento en América Latina y el Caribe en 2010-2012.**

<b>CONSUMO DE CEMENTO (EN MILES DE TONELADAS)</b>			
<b>PAIS</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
Argentina	10.194	11.386	10.456
Barbados	112	103	98
Bolivia	2.449	2.689	2.915
Brasil	60.008	64.972	69.324
Chile	4.456	5.071	5.690 <sup>(2)</sup>
Colombia	8.921	10.155	10.496
Costa Rica	1.275	1.350	1.350 <sup>(2)</sup>
Cuba	1.430	1.298	1.372
Ecuador	5.287	5.706	6.025
El Salvador	1.400 <sup>(1)</sup>	1.430 <sup>(1)</sup>	1.480 <sup>(1)</sup>
Guadalupe y Martinica	440	432	434
Guatemala	2.794	2.850	2.880
Haití	1.120	1.398	1.388
Honduras	1.500 <sup>(1)</sup>	1.500 <sup>(1)</sup>	1.580 <sup>(1)</sup>
Jamaica	696	724	700
México	33.900	34.416	35.600 <sup>(1)</sup>
Nicaragua	600 <sup>(1)</sup>	700 <sup>(1)</sup>	730 <sup>(1)</sup>
Panamá	1.597	1.806	2.400
Paraguay	1.640 <sup>(1)</sup>	1.460 <sup>(1)</sup>	1.280 <sup>(1)</sup>
Perú	8.496	8.838	10.176
Puerto Rico	771	811	835
República Dominicana	3.100	2.800	2.600
Trinidad y Tobago	548	535	512
Uruguay	664	767	829
Venezuela	7.120 <sup>(1)</sup>	7.760 <sup>(1)</sup>	8.280 <sup>(1)</sup>
<b>América Latina y el Caribe</b>	<b>160.518</b>	<b>170.957</b>	<b>179.430</b>

Fuente: Institutos, Cámaras y Asociaciones de cemento de América Latina [Ref. 10].  
 (1) International Cement Review [Ref. 11].  
 (2) Datos preliminares

Fuente: Informe Estadístico 2013 de la Federación Interamericana de Cemento FICEM.

Se evidencia que el consumo de cemento en Venezuela pasó en 2010 de 7.120.000 Toneladas a 8.280.000 Toneladas en 2012.

Así mismo, el consumo per cápita en Venezuela pasó en 2010 de 250 Kg/habitante a 277kg/habitante en 2012, y se evidencia en la Figura N° 13.

**Figura N° 13. Consumo per cápita (Kg./Hab.) de cemento en América Latina y el Caribe en 2010-2012.**

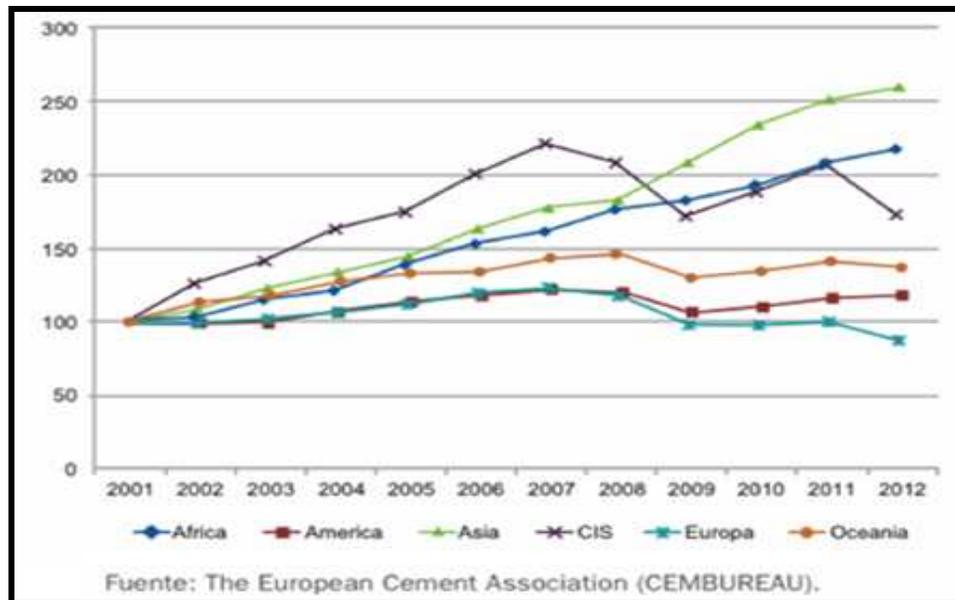
<b>CONSUMO DE CEMENTO PER CÁPITA (KG/HAB)</b>			
<b>PAÍS</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
Argentina	254	281	256
Barbados	406	372	354
Bolivia	233 <sup>(2)</sup>	252 <sup>(4)</sup>	280 <sup>(2)</sup>
Brasil	311	333	353 <sup>(3)</sup>
Chile	261	293	327 <sup>(3)</sup>
Colombia	193 <sup>(2)</sup>	217 <sup>(4)</sup>	226 <sup>(2)</sup>
Costa Rica	279	292	290 <sup>(3)</sup>
Cuba	127	115	122
Ecuador	365	386	388
El Salvador	226 <sup>(2)</sup>	231 <sup>(4)</sup>	235 <sup>(2)</sup>
Guadalupe y Martinica	551	542	544
Guatemala	194	193	191
Haití	120	139	138
Honduras	197 <sup>(2)</sup>	191 <sup>(4)</sup>	199 <sup>(2)</sup>
Jamaica	257	268	258 <sup>(2)</sup>
México	301	299	305 <sup>(2)</sup>
Nicaragua	104 <sup>(2)</sup>	119 <sup>(4)</sup>	120 <sup>(2)</sup>
Panamá	442	492	644
Paraguay	250 <sup>(2)</sup>	222 <sup>(4)</sup>	194 <sup>(2)</sup>
Perú	288	296	338
Puerto Rico	206 <sup>(2)</sup>	227 <sup>(4)</sup>	223 <sup>(2)</sup>
República Dominicana	350	278	258
Trinidad y Tobago	416	405	385
Uruguay	201	232	251
Venezuela	250 <sup>(2)</sup>	265 <sup>(4)</sup>	277 <sup>(2)</sup>
<b>América Latina y el Caribe</b>	<b>276</b>	<b>289</b>	<b>301</b>

Fuente: Institutos, Cámaras y Asociaciones de cemento de América Latina [Ref. 10].  
 (1) International Cement Review [Ref. 11].  
 (2) Estimación FICEM  
 (3) Datos preliminares

Fuente: Informe Estadístico 2013 de la Federación Interamericana de Cemento FICEM.

Por otro lado, la evolución de la producción de cemento en el mundo para el periodo 2001- 2012, se evidencia en la Figura N° 14.

**Figura N° 14. Evolución de la producción de cemento en el mundo para el periodo 2001-2012 (Millones de Toneladas, Base 2001=100).**



CIS= Asociación Industrial Serbia del Cemento. Es un Miembro asociado de la CEMBUREAU..

Fuente: Informe Estadístico 2013 de la Federación Interamericana de Cemento FICEM.

En el reporte de actividades de CEMBUREAU (Asociación de Cemento Europeo) del año 2012, se estima que la producción global de cemento en ese año alcanzó los 3,6 billones de toneladas, lo que se traduce en un incremento del 3% en comparación con el año anterior. China experimentó un incremento anual de 3,6%, inferior al 9,6% registrado en 2011. No obstante, China representó el 59,3% del total de la producción global de cemento, por encima del 56% alcanzado en 2011.

Excluyendo a China, la producción global de cemento aumentó en un 1,8%, inferior al crecimiento del 2,8% registrado en 2011. A pesar del declive económico global, el volumen de producción de cemento de las economías del G20 superó con ventaja el volumen producido en economías avanzadas. En términos generales estos países registraron un incremento del 3,35 anual, en comparación a la reducción del -0,9% en la economías del G7. De acuerdo a cifras provisionales, las tasas mas altas fueron registradas en Sudáfrica, Indonesia, Brasil y la India, en tanto que la Federación Rusa y

Argentina, en donde la producción de cemento aumentó a altas tasas en años anteriores, sufrieron una recesión.

Entre los países del G7, la recuperación en la producción de cemento ganó impulso en Estados Unidos y Japón, lo que resultó en incrementos anuales de 9,15 y 6,1% respectivamente. En Canadá, la producción de cemento registró un aumento moderado de 1,6%, mientras que los países europeos pertenecientes al G7 reportaron fuertes retrocesos en las tasas anuales de crecimiento.

La producción continuó en aumento en 2012 en comparación con los años anteriores en América del Sur, África y Asia. Estas regiones fueron responsables del 3%, 4% y 80% de la producción de cemento respectivamente, los países que pertenecen a la CEMBUREAU representaron aproximadamente el 6% de la producción mundial y la proporción de la producción mundial atribuible a los miembros de la UE se redujo alrededor de 4,3%.

Es evidente que el consumo de cemento a nivel nacional e internacional en líneas generales tiende al alza, siendo un insumo indispensable en el sector construcción. Esta demanda particularmente en Venezuela, entres varios factores concatenados, se traduce en escasez del mismo.

Por lo anterior, evaluar el reuso de desechos industriales con contenido aprovechable es un aspecto indispensable de la investigación científica, tendiente a incorporar aspectos ambientales y sociales que le asignan al aprovechamiento de éstos desechos una condición favorecedora.

Los finos de catalizador gastado de FCC como un desecho industrial y por sus características puzolánicas pudiese constituirse en un sustituto de parte del cemento en una mezcla tradicional para morteros de revestimiento, e incluso para morteros de concreto, todo esto, mediante investigaciones profundas a futuro que logren ser concluyentes en sus respectivas aplicaciones.

### 2.3 BASES LEGALES

La investigación se alinea a las directrices que la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, asigna a cada ciudadano de proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí mismo y del mundo futuro, de acuerdo con lo estipulado en el 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.

Aunado a lo anterior el mismo artículo expresa que “es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación..., de conformidad con la ley”. Lo anterior resalta la importancia y el compromiso que el investigador como ciudadano y como trabajador de la Refinería El Palito, se ve en el compromiso de canalizar las acciones pertinentes a la defensa y mejoramiento del ambiente.

Siguiendo lo anterior, la Ley Orgánica del Ambiente, 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, 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 el catalizador de FCC es considerado como un desecho industrial inerte y no peligroso.

Asumiendo que el catalizador gastado de FCC posee la capacidad de esparcirse por el aire dado su fina granulometría, pudiese generar afecciones a la salud de los trabajadores y la comunidad cercana al área de influencia de la REP; no existen registros científicos que así lo demuestren, y es por este motivo que son manejados en términos de envasado, 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”.

Considerando lo anterior es importante referir que el citado Decreto N° 2.216 expresa en la Sección VII: Del reciclaje, reutilización y aprovechamiento, en el artículo N° 24, que los desechos sólidos cuyas características lo permitan, deberán ser reciclados y aprovechados utilizándolos como materia prima, con el fin de incorporarlos al proceso industrial de producción de bienes, además que estos desechos denominados reciclables no deberán representar riesgos a la salud y al ambiente. Esto permite evidenciar la importancia de visualizar el reuso de los finos catalizador gastado de FCC en otro proceso diferente al de su génesis, y considerando su naturaleza no peligrosa.

El reuso de los finos de catalizador gastado de FCC como gestión oportuna en su manejo, permitiría concebirlo como un residuo sólido (con potencial valorizable) para lo cual la Ley de Gestión Integral de la Basura del 2010 en su artículo N° 6 lo define como “un material remanente o sobrante de actividades humanas, que por sus características físicas, químicas y biológicas puede ser utilizado en otros procesos”, para lo cual su aplicación para morteros de revestimiento determinaría su utilidad práctica.

## 2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Arena:** Conjunto de partículas de rocas disgregadas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2mm, compuesto principalmente por sílice en forma de cuarzo.

**Acabado:** Apariencia estética del mortero seco.

**Aditivo:** Sustancia química que se agrega a la mezcla del concreto para modificar sus propiedades y lograr condiciones específicas, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades de los materiales conglomerados en estado fresco.

**Agregado:** Material granular de composición mineral (arena, gravas, roca triturada, etc.) que se mezcla en distintos tamaños junto con cemento y agua, para formar concreto. Su función dentro del concreto se basa fundamentalmente, en proporcionar una masa de partículas capaces de resistir las acciones de desgaste o de la intemperie que puedan actuar sobre el concreto.

**Características peligrosas:** Son las definidas por las Naciones Unidas para el transporte de mercancías y que el Decreto N° 2.635 refiere en su artículo N° 6.

**Catalizador:** Es una sustancia sólida o líquida, que tiene por finalidad inducir y acelerar reacciones químicas específicas, sin alterar permanentemente su estructura y funcionalidad.

**Catalizador gastado:** Es un catalizador que, después de un tiempo de uso, disminuye o pierde sus propiedades químicas, debiendo ser reemplazado por otro nuevo (fresco), disminuyendo su granulometría (finos).

**Cemento Pórtland:** Conglomerante hidráulico mas usual en la construcción que cuando se mezcla con áridos y agua tiene la propiedad de conformar una masa pétreo resistente y duradera.

Fue inventado en 1824 en Inglaterra por el constructor Joseph Aspdin y su nombre se debe a la semejanza en aspecto con las rocas que se encuentran en la isla de Pórtland, en el condado de Dorset.

**Cemento Pórtland tipo I:** Cemento de uso general en la construcción que se emplea cuando no se requiere de propiedades y características especiales que lo protejan del ataque de factores agresivos como sulfatos, cloruros y temperaturas originadas por calor de hidratación, teniendo propiedades de mayores resistencias iniciales y menores tiempos de fraguado.

**Cemento Pórtland con Adición de Caliza CPCA2:** Es aquel cuyo contenido de caliza u otro material calcáreo es mayor a 15% y menor o igual a 30% del peso total. (de acuerdo con norma COVENIN 3134)

**Clínker:** Mezcla mineralógica formada por la calcinación de caliza y arcilla a una temperatura entre 1350 y 1450 °C. El clínker es el producto del horno que se muele para fabricar el cemento Pórtland.

**Curado:** Proceso de protección del mortero que hace posible el endurecimiento de la mezcla en condiciones optimas. Un curado adecuado del mortero determina su buen comportamiento físico y mecánico y será determinante en la resistencia del mismo. El curado se realiza durante el proceso de fraguado del mortero para asegurar su adecuada humedad, adoptando las medidas oportunas durante el plazo que se establezca en las prescripciones y técnicas, en función del tipo, clase y categoría del cemento, de la temperatura y grado de humedad del ambiente.

**Desecho Peligroso:** Desecho en cualquier estado físico sólido, líquido o gaseoso que presenta características peligrosas o que está constituido por sustancias peligrosas y que no conserva propiedades físicas ni químicas útiles y por lo tanto no puede ser reusado, reciclado, regenerado u otro diferente.

**Fraguado:** Endurecimiento de los materiales aglomerados en un mortero y pérdida de su plasticidad debido a fenómenos fisicoquímicos.

**Mampostería:** Obra de construcción hecha con ladrillos o bloques de concreto que se colocan uno sobre otro de forma que queden bien aplomados, nivelados y alineados, para construir muros o paredes.

**Pandeo:** Es un fenómeno de inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos, y que se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión.

**Residuo:** Material en estado sólido, líquido o gaseoso, que ha sido desechado y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final.

**Reuso de un desecho:** Es el empleo de un desecho en otro ciclo de producción diferente al que le dio origen.

## CAPITULO 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 POBLACION 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 ( $647,6\text{m}^3$ ) 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): ( $\sqrt[3]{VN^{\circ}}$  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:  $\sqrt[3]{VN^{\circ}}$  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 pro el Decreto N° 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 RECOLECCION 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 N° 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 ( $647,6 \text{ m}^3$ , asumiendo una densidad promedio de  $0,85 \text{ g/cm}^3$ ),

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 Nº 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 ( $a/c= 0,48$ ). 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 “Consortio 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.

## CAPÍTULO IV

### PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

***4.1.1. Fase I: Identificación de 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 N° 2.635.***

***4.1.1.1. Análisis de laboratorio y caracterización de peligrosidad de muestra de catalizador gastado de FCC.***

De acuerdo con los resultados obtenidos en las características de peligrosidad del catalizador gastado de FCC se considera que:

- Presenta un pH en solución acuosa de 6,25 unidades.
- Presenta una inflamabilidad >250 °C, por lo tanto no es inflamable.
- Presenta una Reactividad Simple no detectada.
- Presenta una reactividad al Ácido Sulhídrico (H<sub>2</sub>S) 0,8 mg/Kg, siendo el valor regulado por la U.S.E.P.A. de 500 mg/Kg. por lo tanto este desecho no es reactivo.
- Presenta una reactividad al Ácido Cianhídrico (HCN) 0,07 mg/Kg, siendo el valor regulado por la U.S.E.P.A. de 250 mg/Kg. por lo tanto este desecho no es reactivo.

Con respecto a los análisis de metales efectuados a la muestra real, los parámetros evaluados presentaron valores inferiores a los señalados en el Decreto N° 2635, Anexo C, Artículo 5; por lo que se considera no peligroso en su contenido de metales.

En relación a las corridas cromatográficas realizadas en la muestra real para los análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos, se observaron valores inferiores a los reglamentados por el Anexo C, Artículo 5 del Decreto N° 2635.

Referente a los análisis de metales efectuados en el lixiviado, se observaron valores inferiores a los reglamentados por el Anexo D del Decreto N° 2635, por lo tanto se considera no tóxico para fines de disposición.

Con respecto a las corridas cromatográficas realizadas en lixiviado para los análisis de compuestos orgánicos volátiles, se observaron valores inferiores a los reglamentados por el Anexo D, Artículo 5 del Decreto N° 2635.

Según los resultados obtenidos y comparando con la normativa COVENIN 3060:2002, se puede clasificar el desecho como un clase 9 (Misceláneo).

De acuerdo con todo lo anterior es importante indicar que solo el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente es la autoridad ambiental nacional encargada de autorizar la disposición de un desecho sea o no peligroso, para lo cual al laboratorio acreditado solo le correspondió la ejecución de la caracterización de peligrosidad.

**Tabla N° 1. Análisis de peligrosidad de catalizador gastado de FCC**

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA N° 1	INCERTIDUMBRE N° 1	VALOR (1) REGLAMENTADO	MÉTODO (2)
pH en Solución Acuosa	Adm.	6,25	0,01	N.R.	9045C (2,1)
Punto de Inflamación	°C	>250	1	<60,5 inflamable	1010
Reactividad Simple	-	N.D.	-	N.R.	-
Reactividad al Ácido Sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)	mg/Kg	0,8	0,4	500*	9030
Reactividad al Ácido Cianhídrico (HCN)	mg/Kg	0,07	0,03	200*	9010

\* Según Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). La reactividad del Ácido Sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) está reglamentado por la U.S.E.P.A. en 500 mg/Kg. y para el Ácido Cianhídrico en 250 mg/kg.

N.R.: No Reglamentado. N.D: No Detectado

(1) Reglamentado según Decreto N° 2.635. Anexo D de la Gaceta Oficial N° 5.245.

(2) Test Methods for the Evaluating Solid Waste IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. año 1986

(2,1) Test Methods for the Evaluating Solid Waste, Volume IA, IB y IC de la U.S.E.P.A, año 1995

Fuente: Hidrolab Toro (2013).

En la Tabla N° 1 se evidencia que de acuerdo al Decreto N° 2.635, el desecho no es inflamable ni reactivo.

**Tabla N° 2. Análisis de metales en muestra real de catalizador gastado de FCC**

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA N° 1	INCERTIDUMBRE N° 1	VALOR (1) REGLAMENTADO	MÉTODO (2)
Vanadio en sus compuestos (Óxidos y Sales)	mg/Kg. V.	<b>276,0</b>	0,4	<1000	EP A 610 C
Cadmio y sus compuestos	mg/Kg. Cd.	<b>3,3</b>	0,2	<50	EP A 610 C
Cinc y sus compuestos (Polvos, Óxidos y Sales)	mg/Kg. Zn.	<b>8,7</b>	0,2	<1000	EP A 610 C
Cobre Compuestos Solubles (Sales y Ácidos)	mg/Kg. Cu.	<b>11,1</b>	0,2	<1000	EP A 610 C
Mercurio y sus Compuestos	mg/Kg. Hg.	<b>N.D.</b>	0,004	<50	EP A 741 A
Níquel y sus Compuestos (Sales y Óxidos)	mg/Kg. Ni.	<b>24,6</b>	0,2	<1000	EP A 610 C
Plomo y sus Compuestos (Sales y Óxidos)	mg/Kg. Pb.	<b>8,6</b>	0,2	<1000	EP A 610 C

N.R.: No Reglamentado

1mg/Kg. = 1ppm= 0,10% p/p

(1) Reglamentado según Decreto N° 2.635. Anexo D de la Gaceta Oficial N° 5.245.

(2) Test Methods for the Evaluating Solid Waste IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. año 1986

Fuente: Hidrolab Toro (2013).

En la Tabla N° 2 se evidencia que de acuerdo al Decreto N° 2.635, el desecho de acuerdo a su contenido de metales no es peligroso. Todos los valores evaluados: Vanadio, Cadmio, Zinc, Cobre, Mercurio, Níquel y Plomo estuvieron por debajo de lo reglamentado.

**Tabla N° 3. Compuestos aromáticos policíclicos en muestra de catalizador gastado de FCC**

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA N° 1	INCERTIDUMBRE N° 1	VALOR (1) REGLAMENTADO	MÉTODO (2)
Naftaleno	ppm	N.D.	0,01	<50	3630
Acenanaftileno	ppm	N.D.	0,01	N.R.	3630
Acenateno	ppm	N.D.	0,01	N.R.	3630
Fluoreno	ppm	N.D.	0,01	N.R.	3630
Fenantreno	ppm	N.D.	0,01	N.R.	3630
Antraceno	ppm	N.D.	0,01	N.R.	3630
Fluorateno	ppm	N.D.	0,01	N.R.	3630
Pireno	ppm	N.D.	0,01	N.R.	3630
Benzo (a) Antraceno	ppm	N.D.	0,01	N.R.	3630
Criseno	ppm	N.D.	0,01	N.R.	3630
Benzo (b) Fluorateno	ppm	N.D.	0,01	N.R.	3630
Benzo (k) Fluorateno	ppm	N.D.	0,01	N.R.	3630
Benzo (a) Pireno	ppm	N.D.	0,01	N.R.	3630
Dibenzo (a,h) Antraceno	ppm	N.D.	0,01	N.R.	3630
Indeno (1,2,3-cd) Pireno	ppm	N.D.	0,01	N.R.	3630

N.D.: No Detectado.

N.R.: No Reglamentado.

(1) Reglamentado según Decreto N° 2.635. Anexo D de la Gaceta Oficial N° 5.245.

(2) Test Methods for the Evaluating Solid Waste IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. año 1986.

Fuente: Hidrolab Toro (2013).

En la Tabla N° 3 se observa que no se detecto la presencia de ningún compuesto aromático policíclico en la respectiva muestra de catalizador gastado de FCC.

**Tabla N° 4. Test de lixiviación (T.C.L.P.). Análisis de lixiviado en muestra de catalizador gastado de FCC**

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA N° 1
Sólidos Secos (SS)	%	85,59
Peso de la Muestra Seca a 103°C	g.	1,5001
Muestra Lixiviada	g.	23,38
Fluido de Extracción	g.	400
pH Solución Acuosa	Adim.	6,25
pH Solución de HCl 1 N	Adim.	2,19
pH Lixiviado	Adim.	5,51
Fluido de Extracción	Nº	1

Fuente: Hidrolab Toro (2013).

**Tabla N° 5. Test de lixiviación (T.C.L.P.). Evaluación en el lixiviado en muestra de catalizador gastado de FCC**

PARÁMTEROS	UNIDAD	MUESTRA N° 1	INCERTIDUMBRE N° 1	VALOR (1) REGLAMENTADO	MÉTODO (2)
Cadmio (Cd)	mg/L.	N.D.	0,004	1,0	EPA 6010C
Mercurio (Hg)	mg/L.	N.D.	0,004	0,2	EPA 7471A
Cromo Hexavalente (Cr+6)	mg/L.	N.D.	0,004	5,0	EPA 6010C
Níquel (Ni)	mg/L.	0,090	0,004	5,0	EPA 6010C
Plomo (Pb)	mg/L.	0,010	0,004	5,0	EPA 6010C

N.D.: No Detectado.

N.R.: No Reglamentado.

(1) Reglamentado según Decreto N° 2.635. Anexo D de la Gaceta Oficial N° 5.245.

(2) Test Methods for the Evaluating Solid Waste IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. año 1986.

Fuente: Hidrolab Toro (2013).

En la Tabla N° 5 se aprecia que no se detectó la presencia de Cadmio, Mercurio y Cromo hexavalente en el respectivo test de lixiviación, además que los valores de Níquel y Plomo están por debajo del límite reglamentado por el Decreto N° 2.635.

**4.1.2 Análisis de laboratorio y caracterización de peligrosidad del mortero seco obtenido por la mezcla de los agregados para la elaboración del mortero para revestimiento.**

**Tabla N° 6. Análisis de Peligrosidad. Bloque de Catalizador Gastado de FCC al 50%**

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA N° 1	INCERTIDUMBRE N° 1	VALOR (1) REGLAMENTADO	MÉTODO (2)
pH en Solución Acuosa	Adm.	12,02	0,01	N.R.	9045C (2,1)
Punto de Inflamación	°C	>250	1	<60,5 Inflamable	1010
Reactividad Simple	-	N.D.	-	N.R.	-
Reactividad al Ácido Sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)	mg/Kg	1,8	0,4	500*	9030
Reactividad al Ácido Cianhídrico (HCN)	mg/Kg	0,4	0,03	200*	9010

N.R.: No Reglamentado

\* Según Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). La reactividad del Ácido Sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) está reglamentado por la U.S.E.P.A. en 500 mg/Kg. y para el Ácido Cianhídrico en 250 mg/kg.

(1) Reglamentado según Decreto N° 2.635. Anexo D de la Gaceta Oficial N° 5.245.

(2) Test Methods for the Evaluating Solid Waste IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. año 1986

(2,1) Test Methods for the Evaluating Solid Waste, Volume IA, IB y IC de la U.S.E.P.A, año 1995

N.D: No Detectado

Fuente: Hidrolab Toro (2014).

**Tabla N° 7. Análisis de metales en muestra real. Bloque de Catalizador Gastado de FCC al 50%**

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA N° 1	INCERTIDUMBRE N° 1	VALOR (1) REGLAMENTADO	MÉTODO (2)
Vanadio en sus compuestos (Óxidos y Sales)	mg/Kg. V.	5,9	0,4	<1000	EP A 610 C
Cadmio y sus compuestos	mg/Kg. Cd.	0,5	0,2	<50	EP A 610 C
Cinc y sus compuestos (Polvos, Óxidos y Sales)	mg/Kg. Zn.	7,8	0,2	<1000	EP A 610 C
Cobre Compuestos Solubles (Sales y Ácidos)	mg/Kg. Cu.	5,1	0,2	<1000	EP A 610 C
Mercurio y sus Compuestos	mg/Kg. Hg.	ND	0,01	<50	EP A 741 A
Níquel y sus Compuestos (Sales y Óxidos)	mg/Kg. Ni.	4,9	0,2	<1000	EP A 610 C
Plomo y sus Compuestos (Sales y Óxidos)	mg/Kg. Pb.	7,0	0,2	<1000	EP A 610 C

N.R.: No Reglamentado

1mg/Kg. = 1ppm= 0,10% p/p

(1) Reglamentado según Decreto N° 2.635. Anexo D de la Gaceta Oficial N° 5.245.

(2) Test Methods for the Evaluating Solid Waste IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. año 1986

Fuente: Hidrolab Toro (2014).

Se observa en la Tabla N° 7 que todos los valores de metales pesados evaluados en muestra real en el bloque de catalizador gastado de FCC: V, Cd, Zn, Cu, Hg, Ni y Pb, estuvieron por debajo del límite reglamentado por el Decreto N° 2.635.

**Tabla N° 8. Test de Lixiviación (T.C.L.P.): Análisis de Lixiviado. Bloque de Catalizador Gastado de FCC al 50%**

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA N° 1
Sólidos Secos (SS)	%	97
Peso de la Muestra Seca a 103°C	g.	2,2207
Muestra Lixiviada	g.	21
Fluido de Extracción	g.	400
pH Solución Acuosa	Adim.	12,02
pH Solución de HCl 1 N	Adim.	5,70
pH Lixiviado	Adim.	12,07
Fluido de Extracción	N°	2

Fuente: Hidrolab Toro (2013).

**Tabla N° 9. Test de Lixiviación (T.C.L.P.): Evaluación en el Lixiviado. Bloque de Catalizador Gastado de FCC al 50%**

PARÁMETROS	UNIDAD	MUESTRA N° 1	INCERTIDUMBRE N° 1	VALOR (1) REGLAMENTADO	MÉTODO (2)
Cadmio (Cd)	mg/L.	N.D.	0,004	1,0	EPA 6010C
Mercurio (Hg)	mg/L.	N.D.	0,004	0,2	EPA 7471A
Cromo Hexavalente (Cr+6)	mg/L.	N.D.	0,004	5,0	EPA 6010C
Níquel (Ni)	mg/L.	N.D.	0,004	5,0	EPA 6010C
Plomo (Pb)	mg/L.	N.D.	0,004	5,0	EPA 6010C

N.D.: No Detectado.

(1) Reglamentado según Decreto N° 2.635. Anexo D de la Gaceta Oficial N° 5.245.

(2) Test Methods for the Evaluating Solid Waste IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. año 1986.

Fuente: Hidrolab Toro (2014).

En la Tabla N° 9 se aprecia que no se detectó la presencia de metales pesados: Cd, Hg, Cr, Ni y Pb, de acuerdo con el test de lixiviación realizado en el bloque de catalizador gastado donde se uso 50% de sustitución del cemento en la mezcla del mortero.

**Tabla N° 10. Comparación del análisis de peligrosidad para catalizador gastado de FCC (polvo) y bloque de mortero seco donde se uso 50% del desecho en su proporción de mezcla**

PARÁMETROS	UNIDAD	Catalizador FCC (polvo)	Bloque de catalizador al 50%	INCERTIDUMBRE N° 1	VALOR (1) REGLAMENTADO	MÉTODO (2)
pH en Solución Acuosa	Adm.	6,25	12,02	0,01	N.R.	9045C (2,1)
Punto de Inflamación	°C	>250	>250	1	<60,5 Inflamable	1010
Reactividad Simple	-	N.D.	N.D.	-	N.R.	-
Reactividad al Ácido Sulhídrico (H2S)	mg/Kg	0,8	1,8	0,4	500*	9030
Reactividad al Ácido Cianhídrico (HCN)	mg/Kg	0,07	0,4	0,03	200*	9010

N.R.: No Reglamentado

\* Según Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). La reactividad del Ácido Sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) está reglamentado por la U.S.E.P.A. en 500 mg/Kg. y para el Ácido Cianhídrico en 250 mg/kg.

(1) Reglamentado según Decreto N° 2.635. Anexo D de la Gaceta Oficial N° 5.245.

(2) Test Methods for the Evaluating Solid Waste IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. año 1986

(2,1) Test Methods for the Evaluating Solid Waste, Volume IA, IB y IC de la U.S.E.P.A, año 1995

N.D: No Detectado

Fuente: Hidrolab Toro (2013).

La tabla N° 10 permite evidenciar que hubo una variación de los valores de pH en solución acuosa, reactividad al Ácido Sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y reactividad al Ácido Cianhídrico (HCN), siendo mayor en todos los casos para el bloque de catalizador donde se uso 50% en su proporción de mezcla y menor en el catalizador gastado de FCC en polvo, pero indicativa de ninguna peligrosidad para ambos casos.

**Tabla N° 11. Comparación de análisis de metales en muestra real para catalizador gastado de FCC (polvo) y bloque de mortero seco donde se uso 50% del desecho en su proporción de mezcla**

PARÁMETROS	UNIDAD	Catalizador FCC (polvo)	Bloque de catalizador al 50%	INCERTIDUMBRE N° 1	VALOR (1) REGLAMENTADO	MÉTODO (2)
Vanadio en sus compuestos (Óxidos y Sales)	mg/Kg. V.	276,0	5,9	0,4	<1000	EP A 610 C
Cadmio y sus compuestos	mg/Kg. Cd.	3,3	0,5	0,2	<50	EP A 610 C
Cinc y sus compuestos (Polvos, Óxidos y Sales)	mg/Kg. Zn.	8,7	7,8	0,2	<1000	EP A 610 C
Cobre Compuestos Solubles (Sales y Ácidos)	mg/Kg. Cu.	11,1	5,1	0,2	<1000	EP A 610 C
Mercurio y sus Compuestos	mg/Kg. Hg.	N.D.	ND	0,004	<50	EP A 741 A
Níquel y sus Compuestos (Sales y Óxidos)	mg/Kg. Ni.	24,6	4,9	0,2	<1000	EP A 610 C
Plomo y sus Compuestos (Sales y Óxidos)	mg/Kg. Pb.	8,6	7,0	0,2	<1000	EP A 610 C

N.R.: No Reglamentado

1mg/Kg. = 1ppm= 0,10% p/p

(1) Reglamentado según Decreto N° 2.635. Anexo D de la Gaceta Oficial N° 5.245.

(2) Test Methods for the Evaluating Solid Waste IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. año 1986

Fuente: Hidrolab Toro (2014).

La tabla N° 11 evidencia que los valores de metales en muestra real son mucho más bajos en el bloque de catalizador gastado de FCC al 50% que en catalizador en polvo. Esto evidencia que existe una disminución considerable para todos los metales contenidos en muestra real cuando el desecho es reusado.

**Tabla N° 12. Comparación de test de lixiviación (T.C.L.P.)- Análisis de lixiviado para catalizador gastado de FCC (polvo) y bloque de mortero seco donde se uso 50% del desecho en su proporción de mezcla**

PARÁMETROS	UNIDAD	Catalizador FCC (polvo)	Bloque de catalizador al 50%
Sólidos Secos (SS)	%	85,59	97
Peso de la Muestra Seca a 103°C	g.	1,5001	2,2207
Muestra Lixiviada	g.	23,38	21
Fluido de Extracción	g.	400	400
pH Solución Acuosa	Adim.	6,25	12,02
pH Solución de HCl 1 N	Adim.	2,19	5,70
pH Lixiviado	Adim.	5,51	12,07
Fluido de Extracción	Nº	1	2

Fuente: Hidrolab Toro (2013).

**Tabla N° 13. Comparación del test de lixiviación (T.C.L.P.). Evaluación en el lixiviado para catalizador gastado de FCC (polvo) y bloque de mortero seco donde se uso 50% del desecho en su proporción**

PARÁMTEROS	UNIDAD	Catalizador FCC (polvo)	Bloque de catalizador al 50%	INCERTIDUMBRE N° 1	VALOR (1) REGLAMENTADO	MÉTODO (2)
Cadmio (Cd)	mg/L.	N.D.	N.D.	0,004	1,0	EPA 6010C
Mercurio (Hg)	mg/L.	N.D.	N.D.	0,004	0,2	EPA 7471A
Cromo Hexavalente (Cr+6)	mg/L.	N.D.	N.D.	0,004	5,0	EPA 6010C
Níquel (Ni)	mg/L.	0,090	N.D.	0,004	5,0	EPA 6010C
Plomo (Pb)	mg/L.	0,010	N.D.	0,004	5,0	EPA 6010C

N.D.: No Detectado.

N.R.: No Reglamentado.

(1) Reglamentado según Decreto N° 2.635. Anexo D de la Gaceta Oficial N° 5.245.

(2) Test Methods for the Evaluating Solid Waste IA, IB y IC de la U.S.E.P.A. año 1986

Fuente: Hidrolab Toro (2013).

La tabla N° 13 permite evidenciar que los valores de las trazas de metales pesados (Níquel y Plomo) detectados en la muestra de catalizador gastado de FCC (polvo) estando por debajo del límite reglamentado por el Decreto N° 2.635, desaparición como valores no detectados para el bloque de catalizador donde se uso 50% en su proporción de mezcla.

Lo anterior demuestra que el contenido de trazas de metales del catalizador gastado de FCC no lixivia y por lo tanto, queda inmerso dentro de la matriz del mortero seco previsto a ser usado como revestimiento.

**4.1.2 Fase II: Determinación de 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.**

Se diseñaron tres (3) tipos de mezclas para la experimentación, utilizando cemento Portland CPCA2, arena lavada, agua de grifo y catalizador gastado de FCC; siendo las siguientes:

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 siguiente Tabla N° 13, muestra algunas características físico-químicas importantes que describen al cemento Portland CPCA2, la arena lavada (arena fina) y el catalizador de FCC (nuevo).

Considerando lo anterior, se refiere que las características del catalizador de FCC cuando pasa a ser gastado, se mantienen constantes en su mayoría, siendo las que varían, el tamaño de las partículas, el color y la presencia de posibles trazas de metales.

**Tabla N° 14. Características físico –químicas de los componentes de las mezclas para mortero de revestimiento**

CEMENTO	CATALIZADOR DE FCC (NUEVO)	ARENA
Forma: Polvo	Forma: Polvo	Tamaño partículas: 0,5 mm. y 2 mm.
Peso molecular: Variable.	Color: Blanco	Color: marrón
Punto de ebullición: no corresponde.	Olor: sin olor	Densidad: 2,6 g/cm.
Color: grisáceo.	Densidad: 0.6-1.1g/cm <sup>3</sup>	Vacíos: 35,82 %
Gravedad específica: 3,2 g/cm <sup>3</sup> .	Solubilidad: Insoluble	Absorción: 0,75 %
Olor: Ligero	Tamaño partículas: 65-80 µm.	Estado físico a 20°C: sólido.
Presión de vapor: 0 (a efectos prácticos).	Punto de inflamación (°C): No inflamable	Contenido de materia orgánica: 5%
Estado físico a 20°C: sólido.	Estado físico a 20 °C = Sólido	Pasa el tamiz 200: 16,01 %
Solubilidad en agua: despreciable.	Incompatibilidades: Ninguna.	Modulo de finura. 1,79 %
Inflamabilidad: No inflamable	Productos peligrosos de la descomposición: Ninguno.	Solubilidad en agua: despreciable.
Incompatibilidades: ninguna.	<b>CATALIZADOR GASTADO DE FCC</b>	Inflamabilidad: No inflamable
Productos peligrosos de la descomposición: ninguno.	Color: Blanco	Incompatibilidades: Ninguna.
	Tamaño partículas: 5-20 µm.	Productos peligrosos de la descomposición: Ninguno.
	Densidad: 0,85 g/cm <sup>3</sup> .	

Ver anexo A sobre las especificaciones del cemento y el Anexo B sobre las especificaciones del catalizador de FCC (Nuevo).

Fuente: El Autor (2014).

A continuación se especifican las proporciones de componentes en las mezclas consideradas en la investigación para el análisis de resistencia a la compresión a la edad de 28 días (en probetas cúbicas de 5cm x 5cm x 5cm) y de adherencia:

Mezcla N° 1: Mortero patrón.

**Tabla N° 15. Dosificaciones de materiales (mezcla mortero patrón) para análisis de resistencia a compresión a 28 días**

Componente de Mezcla (18 probetas cúbicas)	Cantidad de Materiales utilizados
Cemento	1500 g.
Agua	726 ml.
Arena	4125 g.

Fuente: El Autor (2014).

**Tabla N° 16. Dosificaciones de materiales (mezcla mortero patrón) para análisis de adherencia a 28 días**

Componente de Mezcla (6 moldes cuadrados)	Cantidad de Materiales utilizados
Cemento	500 g.
Agua	242 ml.
Arena	1375 g.

Fuente: El Autor (2014).

**Tabla N° 17. Total de dosificaciones de materiales (mezcla mortero patrón) para análisis de adherencia y resistencia a la compresión a los 28 días.**

Componente de Mezcla	Cantidad de Materiales utilizados
Cemento	2.000 g.
Agua	968 ml.
Arena	5.500 g.

Fuente: El Autor (2014).

Debido a que se realizaron 6 repeticiones de mixtura para la mezcla de mortero patrón, los valores referidos en la tabla anterior del total de dosificaciones, permiten reflejar a continuación, las cantidades de materiales usados por cada repetición.

**Tabla N° 18. Dosificaciones de materiales (mezcla mortero patrón) por cada repetición mixtura para análisis de adherencia y resistencia a la compresión a los 28 días**

Componente de Mezcla	Cantidad de Materiales utilizados por cada repetición
Cemento	333,33 g.
Agua	161,33 ml.
Arena	916,66 g.

Fuente: El Autor (2014).

Cada repetición permitió llenar 3 probetas cúbicas de 5 cm. x 5 cm. x 5 cm. para el análisis de resistencia a la compresión a los 28 días (18 probetas cúbicas en total) y una probeta de 50mm. x 50mm. para la determinación de la adherencia a la tracción a los 28 días.

Mezcla N° 2: Mortero con catalizador de FCC al 15%

**Tabla N° 19. Dosificaciones de materiales (mezcla mortero con catalizador de FCC al 15%) para análisis de resistencia a compresión a 28 días**

Componente de Mezcla (18 probetas cúbicas)	Cantidad de Materiales utilizados
Cemento	1275 g.
Catalizador Gastado FCC	225 g.
Agua	726 ml.
Arena	4125 g.

Fuente: El Autor (2014).

**Tabla N° 20. Dosificaciones de materiales (mezcla mortero catalizador de FCC al 15%) para análisis de adherencia a 28 días**

Componente de Mezcla (6 moldes cuadrados)	Cantidad de Materiales utilizados
Cemento	425 g.
Catalizador Gastado FCC	75 g.
Agua	242 ml.
Arena	1375 g.

Fuente: El Autor (2014).

**Tabla N° 21. Total de dosificaciones de materiales (mezcla mortero catalizador de FCC al 15%) para análisis de adherencia y resistencia a la compresión a los 28 días**

Componente de Mezcla	Cantidad de Materiales utilizados
Cemento	1.700 g.
Catalizador Gastado FCC	300 g.
Agua	968 ml.
Arena	5.500 g.

Fuente: El Autor (2014).

Debido a que se realizaron 6 repeticiones de mixtura para la mezcla de mortero patrón, los valores referidos en la tabla anterior del total de dosificaciones, permiten reflejara a continuación, las cantidades de materiales usados por cada repetición.

**Tabla N° 22. Dosificaciones de materiales (mezcla mortero catalizador de FCC al 15%) por cada repetición mixtura para análisis de adherencia y resistencia a la compresión a los 28 días**

Componente de Mezcla	Cantidad de Materiales utilizados por cada repetición
Cemento	283,33 g.
Catalizador Gastado FCC	49,99 g
Agua	161,33 ml.
Arena	916,66 g.

Fuente: El Autor (2014).

Mezcla N° 3: Mortero con catalizador de FCC al 50%

**Tabla N° 23. Dosificaciones de materiales (mezcla mortero catalizador de FCC al 50%) para análisis de resistencia a compresión a 28 días**

Componente de Mezcla (18 probetas cúbicas)	Cantidad de Materiales utilizados
Cemento	750 g.
Catalizador Gastado FCC	750 g.
Agua	726 ml.
Arena	4125 g.

Fuente: El Autor (2014).

**Tabla N° 24. Dosificaciones de materiales (mezcla mortero catalizador de FCC al 50%) para análisis de adherencia a 28 días**

Componente de Mezcla (6 moldes cuadrados)	Cantidad de Materiales utilizados
Cemento	250 g.
Catalizador Gastado FCC	250 g.
Agua	242 ml.
Arena	1375 g.

Fuente: El Autor (2014).

**Tabla N° 25. Total de dosificaciones de materiales (mezcla mortero catalizador de FCC al 50%) para análisis de adherencia y resistencia a la compresión a los 28 días**

Componente de Mezcla	Cantidad de Materiales utilizados
Cemento	1.000 g.
Catalizador Gastado FCC	1.000 g.
Agua	968 ml.
Arena	5.500 g.

Fuente: El Autor (2014).

Cada repetición permitió llenar 3 probetas cúbicas de 5 cm. x 5 cm. x 5 cm. para el análisis de resistencia a la compresión a los 28 días (18 probetas cúbicas en total) y una probeta de 50mm. x 50mm. para la determinación de la adherencia a la tracción a los 28 días.

**Tabla N° 26. Dosificaciones de materiales (mezcla mortero catalizador de FCC al 50%) por cada repetición mixtura para análisis de adherencia y resistencia a la compresión a los 28 días**

Componente de Mezcla	Cantidad de Materiales utilizados por cada repetición
Cemento	166,66 g.
Catalizador Gastado FCC	166,66 g.
Agua	161,33 ml.
Arena	916,66 g.

Fuente: El Autor (2014).

Cada repetición permitió llenar 3 probetas cúbicas de 5 cm. x 5 cm. x 5 cm. para el análisis de resistencia a la compresión a los 28 días (18 probetas cúbicas en total) y una probeta de 50mm. x 50mm. para la determinación de la adherencia a la tracción a los 28 días

Se observó en la experimentación que el mortero proveniente de la mezcla con 50% de catalizador gastado de FCC, tuvo menor manejabilidad que las otras dos (2) mezclas, y por lo tanto, requirió de su vaciado inmediato en las probetas cúbicas. Además que se evidenció que el color de las probetas cúbicas en estado seco varía levemente, tornándose más oscuro, en la medida que la adición de catalizador en ellas se incrementa.

Las cantidades totales de los componentes requeridos para las tres (3) mezclas de la experimentación fueron las siguientes.

**Tabla N° 27. Cantidades totales de los componentes utilizados para las tres (3) mezclas de la experimentación**

MEZCLA	CANTIDADES UTILIZADAS			
	CEMENTO (g.)	ARENA (g.)	AGUA (ml.)	CATALIZADOR GASTADO DE FCC (g.)
Mortero patrón	2000	5.500	968	0
Mortero con catalizador de FCC al 15%	1700	5.500	968	300
Mortero con catalizador de FCC al 50%	1.000	5.500	968	1.000
<b>TOTAL</b>	<b>4,7 Kg.</b>	<b>16.5 Kg.</b>	<b>2,90 L.</b>	<b>1,3 Kg.</b>

Fuente: El Autor (2014).

**4.1.3. Fase III. Análisis de las propiedades del mortero seco que permiten su aplicación como revestimiento.**

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

A continuación se representan los resultados del peso, volumen y densidad de las probetas cúbicas realizadas por cada una de las mezclas consideradas en la investigación, siendo obtenidos al siguiente día de la preparación de cada mezcla:

**Tabla N° 28. Valores peso, volumen y densidad de probetas cúbicas elaboradas con la mezcla de mortero patrón**

MEZCLA DE MORTERO PATRON (Realizado: 08-01-14)			
N° PROBETA	PESO (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
1	278,83	127,5	2,19
2	279,26	130	2,15
3	257,93	117,64	2,19
4	285,03	130	2,19
5	281,57	132,65	2,12
6	277,84	127,5	2,18
7	292,65	132,65	2,21
8	269,71	124,95	2,16
9	268,49	125	2,15
10	289,57	127,5	2,27
11	271,77	125	2,17
12	286,15	127,5	2,24
13	267,07	122,5	2,18
14	267,67	122,5	2,19
15	266,92	120,05	2,22
16	270,31	127,5	2,12
17	257,71	120,05	2,15
18	277,14	127,5	2,17

Fuente: El Autor (2014).

**Tabla N° 29. Valores peso, volumen y densidad de probetas cúbicas elaboradas con la mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 15%**

MEZCLA DE MORTERO 15% CATALIZADOR FCC (Realizado: 09-01-14)			
N° PROBETA	PESO (g)	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD (g/cm3)
1	298,68	127,5	2,34
2	277,68	120,05	2,31
3	272,72	120	2,27
4	290,31	127,5	2,28
5	281,1	127,5	2,20
6	275,26	122,5	2,25
7	310,81	135,25	2,30
8	310,81	125	2,49
9	277,7	129,79	2,14
10	305,91	125	2,45
11	294,27	130	2,26
12	300,24	132,6	2,26
13	305,72	132,65	2,30
14	302,1	130,05	2,32
15	301,16	115,24	2,61
16	274,88	125	2,20
17	274,68	122,45	2,24
18	278,13	127,5	2,18

Fuente: El Autor (2014).

**Tabla N° 30. Valores peso, volumen y densidad de probetas cúbicas elaboradas con la mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 50%**

<b>MEZCLA DE MORTERO 50% CATALIZADOR FCC (Realizado: 10-01-14)</b>			
<b>N° PROBETA</b>	<b>PESO (g)</b>	<b>VOLUMEN (cm3)</b>	<b>DENSIDAD (g/cm3)</b>
1	291,6	127,5	2,29
2	290,86	130,05	2,24
3	296,96	127,5	2,33
4	271,92	122,5	2,22
5	270,22	122,5	2,21
6	267,18	122,5	2,18
7	289,22	132,65	2,18
8	293,53	130	2,26
9	300,28	132,6	2,26
10	296,3	135,2	2,19
11	290,52	132,6	2,19
12	291,46	132,6	2,20
13	276,67	127,4	2,17
14	274,01	125	2,19
15	270,8	120,05	2,26
16	279,4	125	2,24
17	267,54	120	2,23
18	277,21	130	2,13

Fuente: El Autor (2014).

Para el cálculo de la resistencia a la compresión se utilizó la siguiente fórmula:  $R = P/A$

Siendo:

R= resistencia a la compresión ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

P= carga máxima aplicada (kg).

A= área de la sección transversal del cubo ( $\text{cm}^2$ ).

Se consideró como criterio de aceptación y rechazo, lo establecido en la norma COVENIN 484-93, la cual refiere que las probetas que difieren en más del 10% del valor promedio de todas las probetas elaboradas de la misma muestra y ensayadas a la misma edad no deben ser consideradas para el cálculo de la resistencia a la compresión.

Es importante referir que todas las probetas cúbicas fueron sometidas a un proceso de curado a una temperatura y humedad adecuadas que aseguraron su hidratación y respectivo endurecimiento, según las indicaciones de la norma COVENIN 484-93.

De acuerdo con lo anterior, las probetas cúbicas fueron sacadas de sus moldes hasta que cumplieron 24 horas y luego se sumergieron con agua saturada con cal en un envase de almacenamiento construido de materiales no sujetos a la corrosión. El agua de almacenamiento se mantuvo limpia mediante cambios frecuentes.

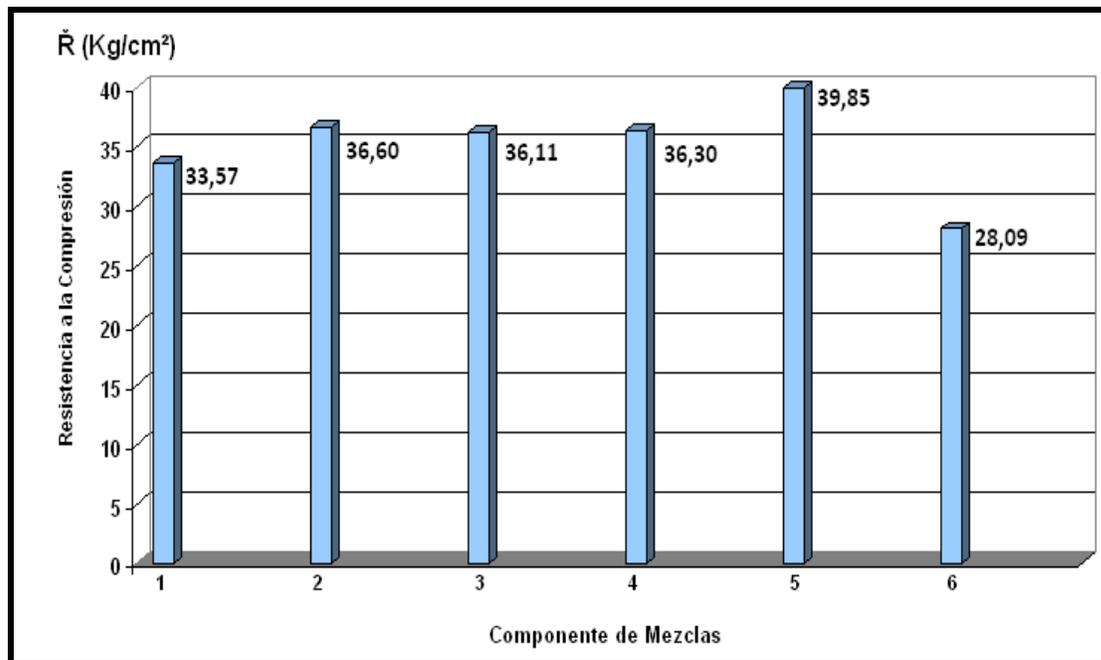
Los resultados de la resistencia a la compresión a la edad de 28 días para cada uno de los tres (3) tipos de mezclas se expresan en las siguientes tablas:

**Tabla N° 31. Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero patrón**

MEZCLA DE MORTERO PATRON								
ELABORACIÓN	ROTURA	COMPONENTE	PROBETA	PESO (g)	AREA SECCIÓN TRANSV. (cm <sup>2</sup> ).	CARGA MÁXIMA P (Kg)	RESISTENCIA R (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA PROMEDIO $\bar{R}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
09/01/2014	06/02/2014	1	1	298,68	25,5	735	28,82	33,57
			2	277,68	24,5	975	39,80	
			3	272,72	24	770	32,08	
09/01/2014	06/02/2014	2	4	290,31	25,5	960	37,65	36,60
			5	281,1	25,5	950	37,25	
			6	275,26	24,5	855	34,90	
09/01/2014	06/02/2014	3	7	310,81	26,52	915	34,50	36,11
			8	310,81	25	1.115	44,60	
			9	277,7	27,04	790	29,22	
09/01/2014	06/02/2014	4	10	305,91	25	1.035	8,28	36,30
			11	294,27	26	1.040	40,00	
			12	300,24	26,01	715	27,49	
09/01/2014	06/02/2014	5	13	305,72	26,01	950	36,52	39,85
			14	302,1	26,01	1.125	43,25	
			15	301,16	24,01	955	39,78	
09/01/2014	06/02/2014	6	16	274,88	25	755	30,20	28,09
			17	274,68	24,99	690	27,61	
			18	278,13	25,5	675	26,47	

Fuente: El Autor (2014).

**Figura N° 15. Valores promedio de resistencia a la compresión a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero patrón**



Fuente: El Autor (2014).

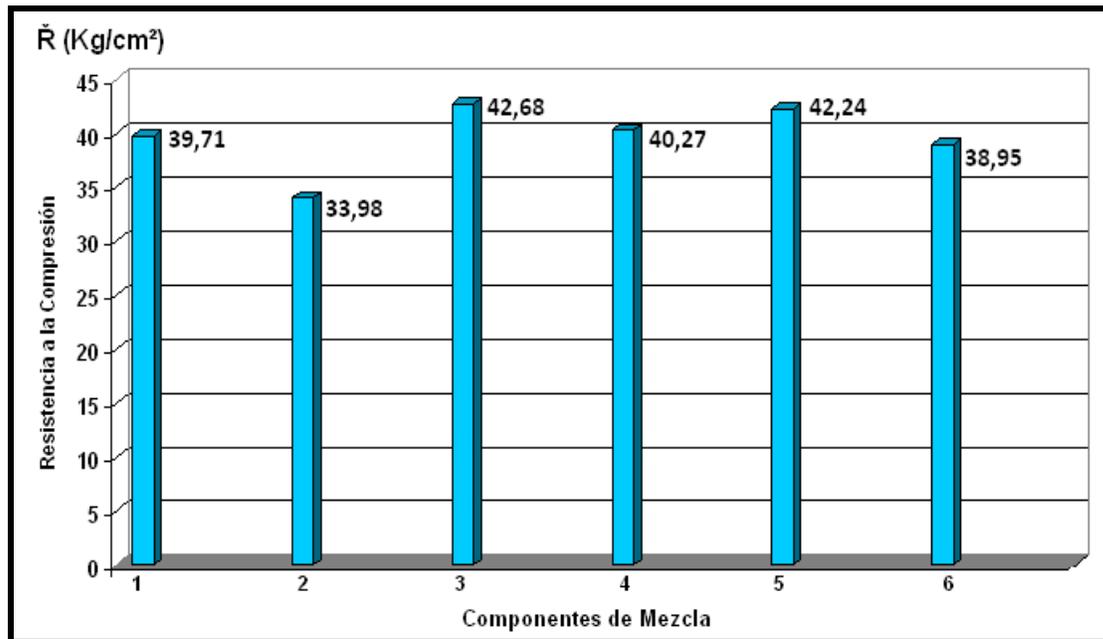
La gráfica muestra que el valor mínimo promedio de resistencia a la compresión a los 28 días fue de 28,09 Kg/cm<sup>2</sup> y el valor máximo de 39,85 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla N° 32. Valores promedio de resistencia a la compresión a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con adición de catalizador gastado de FCC al 15%**

MEZCLA DE MORTERO CON 15 % CATALIZADOR GASTADO DE FCC								
ELABORACIÓN	ROTURA	COMPONENTE	PROBETA	PESO (g)	AREA SECCIÓN TRANSV. (cm <sup>2</sup> )	CARGA MÁXIMA P (Kg)	RESISTENCIA R (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA PROMEDIO R̄ (Kg/cm <sup>2</sup> )
08/01/2014	05/02/2014	1	1	278,83	25,5	835	32,74	39,71
			2	279,26	26	990	38,08	
			3	257,93	24,01	1.160	48,31	
08/01/2014	05/02/2014	2	4	285,03	26	995	38,27	33,98
			5	281,57	26,01	855	32,87	
			6	277,84	25,5	785	30,78	
08/01/2014	05/02/2014	3	7	292,65	26,01	825	31,72	42,68
			8	269,71	25,5	1.365	53,53	
			9	268,49	25	1.070	42,80	
08/01/2014	05/02/2014	4	10	289,57	25,5	980	38,43	40,27
			11	271,77	25	1.040	41,60	
			12	286,15	25,5	1.040	40,78	
08/01/2014	05/02/2014	5	13	267,07	24,5	1.075	43,88	42,24
			14	267,67	24,5	890	36,33	
			15	266,92	24,5	1.140	46,53	
08/01/2014	05/02/2014	6	16	270,31	25,5	1.085	42,55	38,95
			17	257,71	24,5	1.110	45,30	
			18	277,14	25,5	740	29,01	

Fuente: El Autor (2014).

**Figura N° 16. Valores promedio de resistencia a la compresión a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con adición catalizador gastado de FCC al 15%**



Fuente: El Autor (2014).

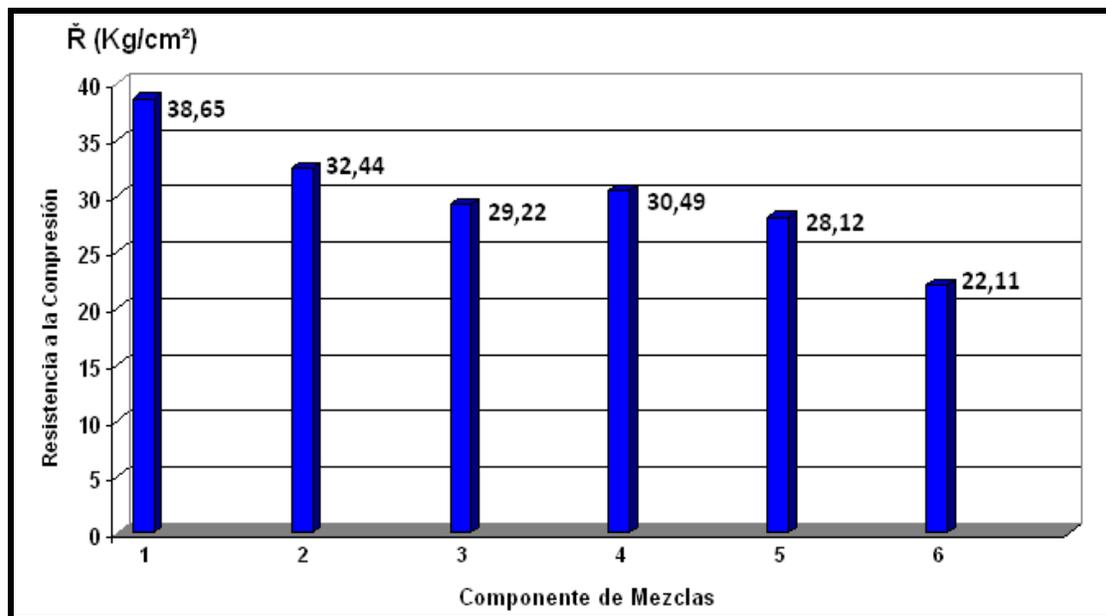
La gráfica muestra que el valor mínimo promedio de resistencia a la compresión a los 28 días fue de 33,98 Kg/cm<sup>2</sup> y el valor máximo de 42,68 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla N° 33. Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 50%**

MEZCLA DE MORTERO CON 50 % CATALIZADOR GASTADO DE FCC								
ELABORACIÓN	ROTURA	GRUPO	COMPONENTE	PESO (g)	AREA SECCIÓN TRANSV. (cm²).	CARGA MÁXIMA P (Kg)	RESISTENCIA R (Kg/cm²)	RESISTENCIA PROMEDIO $\bar{R}$ (Kg/cm²)
10/01/2014	07/02/2014	1	1	291,6	25,5	945	37,05	38,65
			2	290,86	26,01	1.150	44,21	
			3	296,96	25,5	885	34,7	
10/01/2014	07/02/2014	2	4	271,92	24,5	780	31,83	32,44
			5	270,22	24,5	850	34,69	
			6	267,18	24,5	755	30,81	
10/01/2014	07/02/2014	3	7	289,22	26,52	720	27,14	29,22
			8	293,53	26	750	28,84	
			9	300,28	26,52	840	31,67	
10/01/2014	07/02/2014	4	10	296,3	27,04	935	34,57	30,49
			11	290,52	26,01	735	28,25	
			12	291,46	26,01	745	28,64	
10/01/2014	07/02/2014	5	13	276,67	26,01	660	25,37	28,12
			14	274,01	25	730	29,2	
			15	270,8	24,5	730	29,79	
10/01/2014	07/02/2014	6	16	279,4	25	420	16,8	22,11
			17	267,54	24,5	625	25,51	
			18	277,21	26	625	24,03	

Fuente: El Autor (2014).

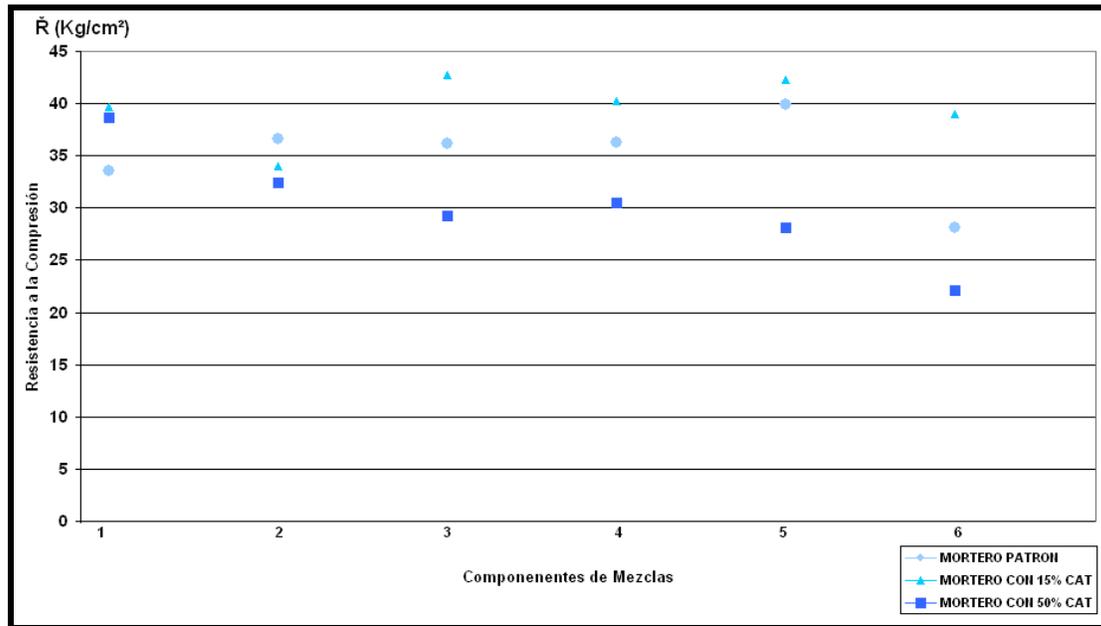
**Figura N° 17. Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 50%**



Fuente: El Autor (2014).

La gráfica muestra que el valor mínimo promedio de resistencia a la compresión a los 28 días fue de 22,11 Kg/cm<sup>2</sup> y el valor máximo de 38,65 Kg/cm<sup>2</sup>.

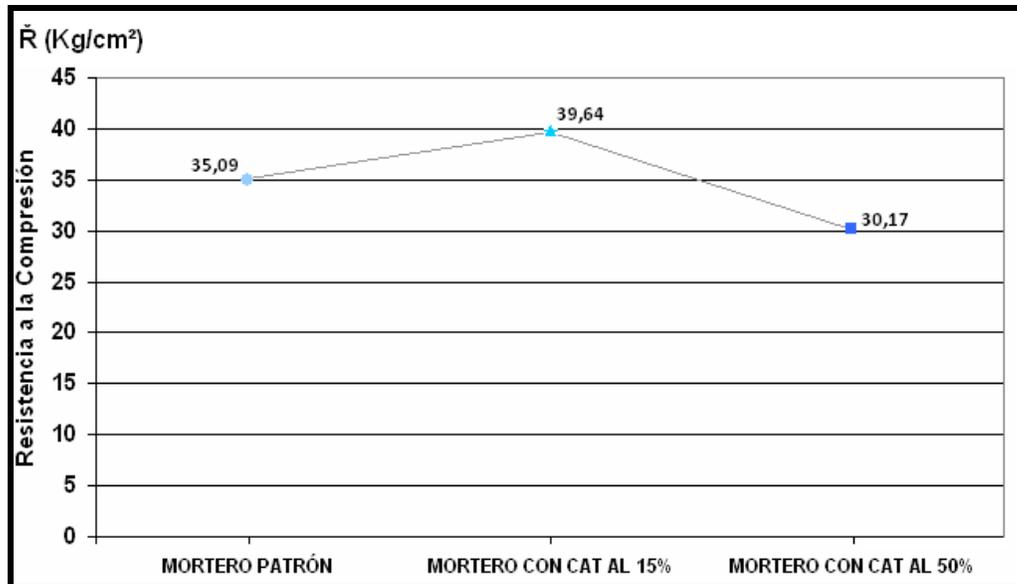
**Figura N° 18. Distribución de los valores promedio de resistencia a la compresión a los 28 días de los seis (6) componentes de mezcla de los morteros evaluados**



Fuente: El Autor (2014).

Se observa la distribución de los valores promedio de resistencia a la compresión a los 28 días de seis (6) componentes de mezcla de los tres (3) morteros evaluados. Los valores del mortero con adición de catalizador gastado de FCC al 15% presentan valores por encima del mortero patrón y los valores del mortero con adición de catalizador al 50% muestran valores por debajo de los correspondientes al referido mortero patrón.

**Figura N° 19. Distribución de promedios totales de resistencia a la compresión a los 28 días de los morteros evaluados**



Fuente: El Autor (2014).

El mortero con adición de catalizador gastado de FCC al 15% presentó una resistencia a la compresión a los 28 días de 39,64 Kg/cm<sup>2</sup>, estando por encima del valor del mortero patrón que fue de 35,09 Kg/cm<sup>2</sup> y el valor del mortero con adición del catalizador gastado de FCC al 50% fue de 30,17 Kg/cm<sup>2</sup>, siendo el valor mas bajo.

La adición de catalizador gastado FCC en el mortero con 15% de sustitución de cemento, evidenció el valor más alto de resistencia en la experimentación. Este diseño de mezcla mostró un aumento a razón de 4,55 Kg/cm<sup>2</sup> en relación al diseño de mezcla del mortero patrón.

La adición de catalizador gastado de FCC en el mortero con 50% de sustitución de cemento, reflejó el valor mas bajo en la experimentación. Este diseño de mezcla mostró una disminución a razón de 9,47 Kg/cm<sup>2</sup> en relación al diseño de mezcla del mortero con adición de catalizador gastado de FCC al 15% de sustitución del cemento y además mostró una disminución a razón de 4,92 Kg/cm<sup>2</sup> en relación al diseño de mezcla del mortero patrón.

En lo que respecta a la adherencia a la tracción, para su cálculo, se utilizó la siguiente fórmula:  $\sigma = Q/A$

Siendo:

$\sigma$  = Resistencia a tracción (Newton/mm.<sup>2</sup>)

Q = Carga en el momento de despegue (Newton)

A = Área de la probeta (mm.<sup>2</sup>)

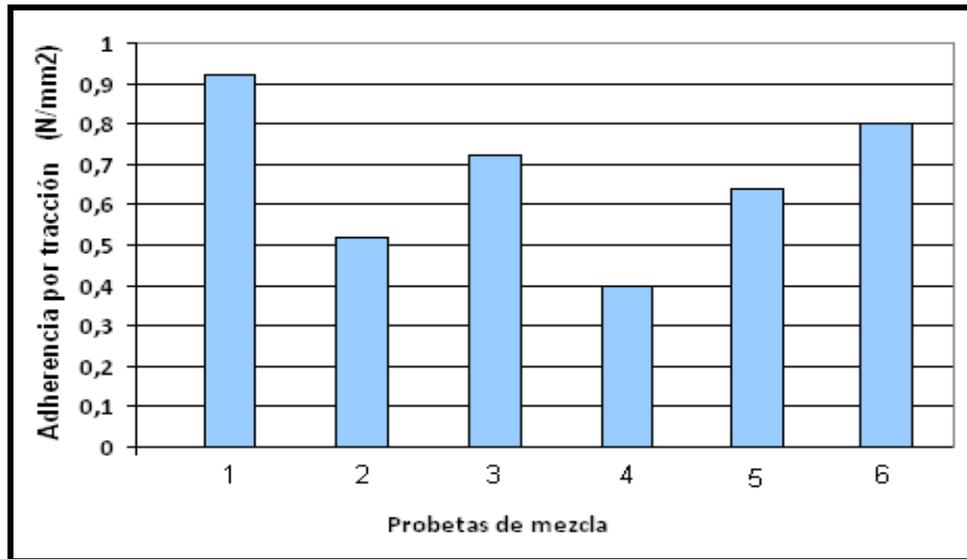
Los resultados de la adherencia a la tracción a la edad de 28 días para cada uno de los tres (3) tipos de mezclas se expresan en las siguientes tablas:

**Tabla N° 34. Resultados de adherencia a la tracción a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero patrón.**

Elaboración	Rotura	PROBETA	Fuerza (KN)	Adherencia por tracción (N/mm <sup>2</sup> )	Adherencia Promedio (N/mm <sup>2</sup> )
08/01/2014	05/02/2014	1	0,23	0,92	0,66
08/01/2014	05/02/2014	2	0,13	0,52	
08/01/2014	05/02/2014	3	0,18	0,72	
08/01/2014	05/02/2014	4	0,10	0,40	
08/01/2014	05/02/2014	5	0,16	0,64	
08/01/2014	05/02/2014	6	0,20	0,80	

Fuente: El Autor (2014).

**Figura N° 20. Valores de adherencia a la tracción a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero patrón**



Fuente: El Autor (2014).

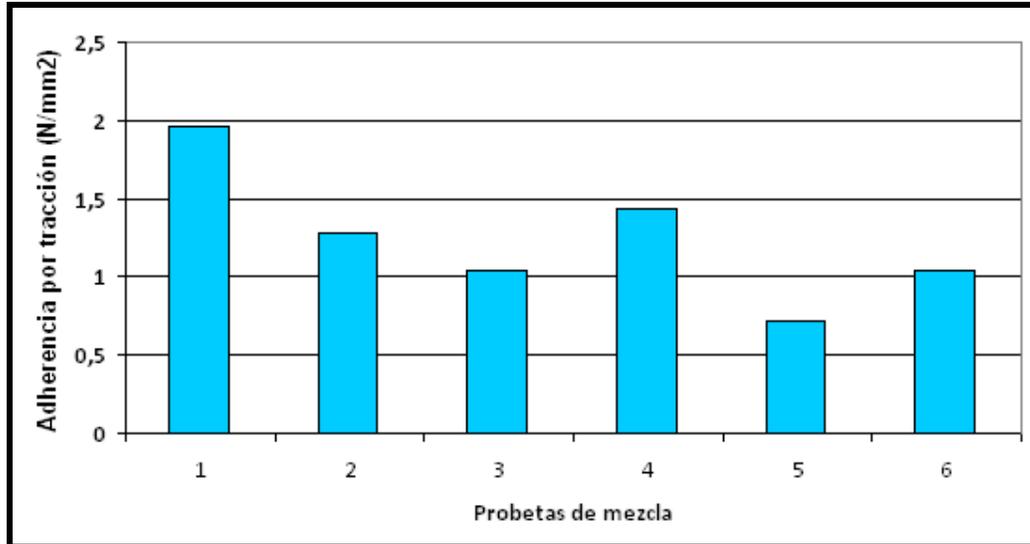
La gráfica muestra que el valor mínimo de adherencia a los 28 días fue de 0,40 N/mm<sup>2</sup> y el valor máximo de 0,92 N/mm<sup>2</sup>.

**Tabla N° 35. Resultados de adherencia a la tracción a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 15%**

Elaboración	Rotura	PROBETA	Fuerza (KN)	Adherencia por tracción (N/mm <sup>2</sup> )	Adherencia Promedio (N/mm <sup>2</sup> )
09/01/2014	06/02/2014	1	0,49	1,96	1,24
09/01/2014	06/02/2014	2	0,32	1,28	
09/01/2014	06/02/2014	3	0,26	1,04	
09/01/2014	06/02/2014	4	0,36	1,44	
09/01/2014	06/02/2014	5	0,18	0,72	
09/01/2014	06/02/2014	6	0,26	1,04	

Fuente: El Autor (2014).

**Figura Nº 21. Valores de adherencia a la tracción a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 15%**



Fuente: El Autor (2014).

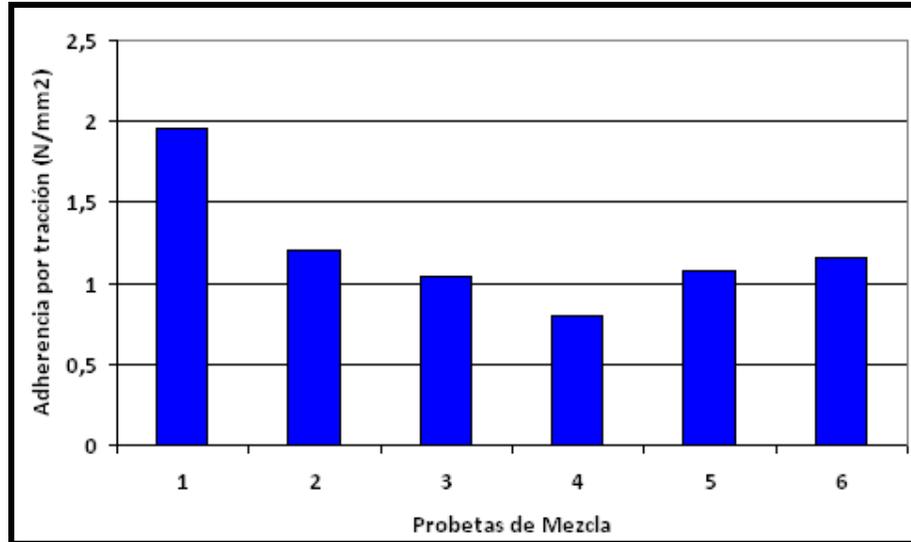
La gráfica muestra que el valor mínimo de adherencia a los 28 días fue de 0,72 N/mm<sup>2</sup> y el valor máximo de 1,96 N/mm<sup>2</sup>.

**Tabla N° 36. Resultados de adherencia a la tracción a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 50%**

Elaboración	Rotura	PROBETA	Fuerza (KN)	Adherencia por tracción (N/mm <sup>2</sup> )	Adherencia Promedio (N/mm <sup>2</sup> )
10/01/2014	07/02/2014	1	0,49	1,96	1,20
10/01/2014	07/02/2014	2	0,30	1,20	
10/01/2014	07/02/2014	3	0,26	1,04	
10/01/2014	07/02/2014	4	0,20	0,8	
10/01/2014	07/02/2014	5	0,27	1,08	
10/01/2014	07/02/2014	6	0,29	1,16	

Fuente: El Autor (2014).

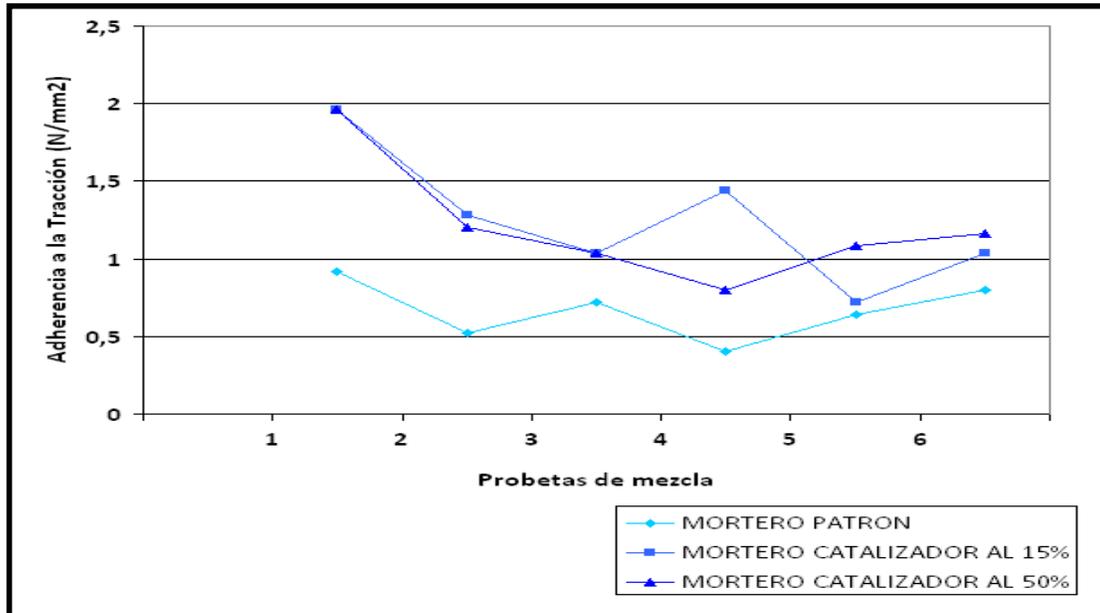
**Figura Nº 22. Valores de adherencia a la tracción a los 28 días de probetas cúbicas elaboradas con mezcla de mortero con catalizador gastado de FCC al 50%**



Fuente: El Autor (2014).

La gráfica muestra que el valor mínimo de adherencia a los 28 días fue de 0,8 N/mm<sup>2</sup> y el valor máximo de 1,96 N/mm<sup>2</sup>.

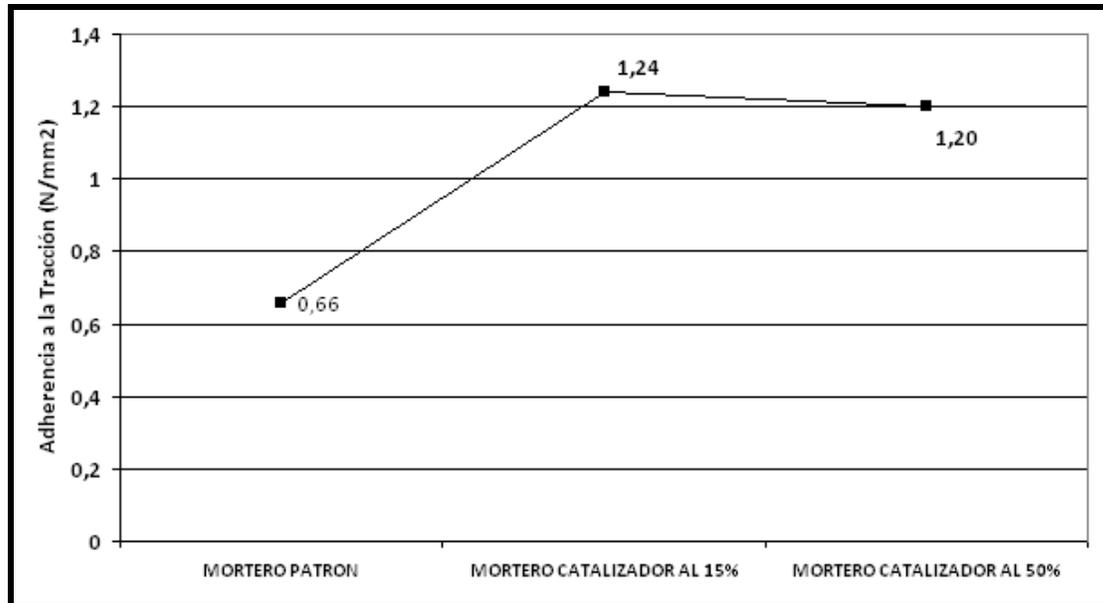
**Figura N° 23. Distribución de los valores de adherencia a la tracción a los 28 días de los seis (6) componentes de mezcla de los morteros evaluados**



Fuente: El Autor (2014).

Se observa la distribución de los valores de adherencia a los 28 días de seis (6) probetas de mezcla de los tres (3) morteros evaluados. Los valores del mortero con adición de catalizador gastado de FCC al 15% presentan valores por encima del mortero patrón y los valores del mortero con adición de catalizador al 50% muestran valores por debajo de los correspondientes al referido mortero patrón.

**Figura N° 24. Distribución de promedios de adherencia a la tracción a los 28 días de los morteros evaluados**



Fuente: El Autor (2014).

El mortero con adición de catalizador gastado de FCC al 15% presentó una adherencia a la tracción a los 28 días de  $1,24 \text{ N/mm}^2$ , estando por encima del valor del mortero patrón que fue de  $0,66 \text{ N/mm}^2$  y del valor del mortero con adición del catalizador gastado de FCC al 50% que fue de  $1,20 \text{ N/mm}^2$ .

La adición de catalizador gastado FCC en el mortero con 15% de sustitución de cemento, evidenció el valor más alto de adherencia a la tracción en la experimentación. Este diseño de mezcla mostró un aumento a razón de  $0,58 \text{ N/mm}^2$  en relación al diseño de mezcla del mortero patrón.

La adición de catalizador gastado de FCC en el mortero con 50% de sustitución de cemento, reflejó un valor más alto en relación al mortero patrón a razón de  $0,54 \text{ N/mm}^2$ , pero más bajo en relación al mortero con catalizador al 50% a razón de  $0,4 \text{ N/mm}^2$ .

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

Cada una de las tres (3) mezclas obtenidas en la experimentación (mortero patrón, mortero con catalizador de FCC al 15% y mortero con catalizador de FCC al 50%) fueron aplicadas como revestimiento (con 5cm de espesor) en paredes (9m<sup>2</sup> cada una) y fue evaluado visualmente su comportamiento, luego de 28 días de haber sido aplicadas. El revestimiento de los morteros aplicados en las paredes destinadas para la prueba de aplicabilidad, no mostró evidencia de roturas o grietas.

Se necesitaron 8 golpes para la fijación de un clavo de acero totalmente incrustado en una pared revestida con la mezcla del portero tradicional. Por su parte, fueron necesarios 18 golpes para la fijación de un clavo de acero totalmente incrustado en una pared revestida con la mezcla del mortero con 15% de catalizador gastado de FCC. Para el caso de la mezcla del mortero con 50% de catalizador gastado de FCC que fue usada para revestir una pared, se requirieron 22 golpes para fijar un clavo de acero totalmente incrustado en la misma. Todo lo anterior resume que la resistencia, es una propiedad que aumenta a medida que se incrementa el porcentaje de catalizador gastado de FCC utilizado en la mezcla.

Para la mezcla de mortero patrón que se requirió para revestir una pared de 9m<sup>2</sup> con un espesor de 5cm, considerando la relación agua-cemento (a/c)= 0,48, se requirieron las siguientes cantidades:

**Tabla Nº 37. Dosificaciones de mezcla para revestimiento de pared con mezcla de mortero patrón**

Componente de Mezcla Mortero Patrón	Cantidad de Materiales utilizados por cada repetición
Cemento	63,75 Kg. (1 y 1/2 saco)
Agua	30,6 L.
Arena	318,75 Kg.

Fuente: El Autor (2014).

Para la mezcla de mortero con catalizador de FCC al 15% que se requirió para revestir una pared de 9m<sup>2</sup> con un espesor de 5cm, considerando la relación agua-cemento (a/c)= 0,48, se requirieron las siguientes cantidades:

**Tabla N° 38. Dosificaciones de mezcla para revestimiento de pared con mezcla de mortero con catalizador al 15%**

Componente de Mezcla Mortero con catalizador de FCC al 15%	Cantidad de Materiales utilizados por cada repetición
Cemento	54,18 Kg. (1 y 1/2 saco)
Catalizador gastado de FCC	9,56 Kg.
Agua	30,6 L.
Arena	318,75 Kg.

Fuente: El Autor (2014).

Con respecto a la mezcla de mortero con catalizador de FCC al 50% que se requirió para revestir una pared de 9m<sup>2</sup> con un espesor de 5cm, considerando la relación agua-cemento (a/c)= 0,48, se requirieron las siguientes cantidades:

**Tabla N° 39. Dosificaciones de mezcla para revestimiento de pared con mezcla de mortero con catalizador al 50%**

Componente de Mezcla Mortero con catalizador de FCC al 15%	Cantidad de Materiales utilizados por cada repetición
Cemento	31,87 Kg.
Catalizador gastado de FCC	31,87 Kg.
Agua	30,6 L.
Arena	318,75 Kg.

Fuente: El Autor (2014).

Las cantidades totales de componentes utilizados para las tres (3) mezclas de mortero utilizados como revestimiento en paredes fueron las siguientes:

**Tabla N° 40. Cantidades totales de los componentes utilizados para las tres (3) mezclas utilizadas como revestimiento de pared**

Componentes de Mezclas	Mortero Patrón	Mortero con catalizador al 15%	Mortero con catalizador al 50%	TOTAL
Cemento	63,75 Kg. (1 y 1/2 saco)	54,18 Kg.	31,87 Kg.	149,8 Kg.
Catalizador gastado de FCC	NO APLICA	9,56 Kg.	31,87 Kg.	41,43 Kg.
Agua	30,6 L.	30,6 L.	30,6 L.	91,8 L.
Arena	318,75 Kg.	318,75 Kg.	318,75 Kg.	956,25 Kg.

Fuente: El Autor (2014).

**4.1.4. Fase IV: Investigación de 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.**

Dado que la parte de la granulometría del catalizador gastado de FCC (5-20 micrones) se corresponde en cierto rango con la del polvo común (<10 micrones), se infiere que posee semejantes implicaciones en la salud del ser humano, además que es sabido que posee la capacidad de dispersarse por el aire.

El catalizador gastado de FCC, según la norma MA-01-02-05 de PDVSA “Manejo Integral de Catalizadores Gastados”, es un material usado 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 se constituye en un polvo fino fácil de transportar por el aire.

Según lo anterior, al relacionar las implicaciones del polvo con las del catalizador gastado de FCC, y asumiendo que de alguna u otra manera pudiesen derivarse efectos nocivos a la salud, aunque ésta presunción no posee respaldo científico que lo valide, el investigador refiere que para evitar cualquier implicación a la salud que de alguna u otra manera pudiese vincularse con la manipulación y reuso de los finos de catalizador gastado de FCC, se recomienda el uso de mascarilla contra polvo de sílice y/o alúmina, ajustada a los requerimientos de la normativa internacional y de los criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

Con el uso de una mascarilla contra polvo sílice y/o alúmina, la cual debe cumplir con las especificaciones de la norma COVENIN 1056/II-91 "Equipos de protección respiratoria contra partículas", 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 la combinación de varios factores como lo son las condiciones y capacidad pulmonar de la persona, presencia de humedad en el aire, tiempo de exposición a los finos de catalizador gastado de FCC y uso del equipo de protección respiratoria (mascarilla).

De igual manera el uso de la mascarilla se hace indispensable en la manipulación de todos los ingredientes requeridos para la mezcla del mortero para friso (cemento, catalizador gastado de FCC y arena), por criterios de salud ocupacional.

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 Administración 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” 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.

Por todo lo anterior es importante indicar que haciendo uso de la respectiva mascarilla contra polvo, se disminuye la exposición al riesgo por contacto con dicho desecho, y ello debe ser una práctica operativa y cotidiana al momento de manipular el catalizador, como una medida de seguridad e higiene ocupacional.

En Venezuela, la legislación ambiental a saber, es decir, el Decreto Nº 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. Esta consideración argumenta el hecho de que la exposición por contacto e inhalación al desecho en estudio, debe controlarse por criterios de salud e higiene ocupacional y de legislación ambiental, aun cuando la concentración de polvo o material particulado que constituye el desecho, sea mucho menor a las cantidades que la legislación ambiental refiere como valores máximos permisibles de tolerancia.

Considerando lo anterior, la legislación venezolana no es tan exhaustiva como la legislación internacional, 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 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  $PM_{10}$ , constituyéndose en la fracción respirable.

El Material Particulado -  $PM_{2.5}$ , (de partículas inferiores a 2.5 micras, fracción fina), 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 Santamaría, M. (2008), 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  $100\ \mu m$ ) quedan retenidas en las vías respiratorias altas (nariz y boca); las partículas torácicas (diámetro inferior a  $10\ \mu m$ , también denominadas  $PM_{10}$ ) penetran más allá de la laringe y alcanzan la región traqueo bronquial.

Es importante referir que independientemente de la granulometría de las partículas de catalizador gastado de FCC, el uso de la mascarilla cuando es manipulado para obtener la mezcla con los demás agregados del friso es tan importante como cuando son mezclados los elementos del friso en su forma y uso tradicional, así que no se considera una limitante para su aplicación lo relativo a su fina granulometría.

Considerando lo anterior, se hace necesario referir que el uso del catalizador gastado de FCC en la presente investigación solo se enfoca en el caso de que la respectiva caracterización de peligrosidad que demanda el decreto N° 2635 indique su naturaleza no peligrosa. Pero en todo caso, habría que considerar aquellas caracterizaciones de peligrosidad que en algún escenario pudiesen resultar peligrosas en el contenido de metales en el desecho (trazas), dado que en este particular habría que realizar una posterior caracterización de peligrosidad al mortero seco obtenido por la mezcla de los componentes para revestimiento (en muestra real y en lixiviados), para determinar si las

trazas de metales han quedado inmersas en la matriz del mortero o no, y por lo tanto no representen un riesgo a la salud humana y al ambiente.

Otro aspecto a considerar en la manipulación del catalizador gastado de FCC, que aplica también para los demás componentes de la mezcla para el mortero de revestimiento (arena y cemento) es que se recomienda, y particularmente a exposiciones prolongadas, el uso de protección ocular (lentes) y guantes, tal como lo refieren las respectivas hojas de seguridad y fichas técnicas de adquisición de éstos componentes.

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

PDVSA Refinería El Palito posee un inventario de 550 Ton. (647,6 m<sup>3</sup>) de catalizador gastado de FCC almacenado y genera una corriente anual de 2.550 Ton. (2.983,5m<sup>3</sup>). Parte de la corriente anual del desecho generado en años anteriores, se dispuso mediante la técnica de co-procesamiento térmico en la empresa estatal INVECEM, en su centro de manejo mas cercano ubicado en Cumarebo-edo. Falcón, siendo seleccionado por razones de logística y de costos.

De acuerdo con la consideración anterior, los costos asociados a la disposición de las 550 toneladas de catalizador gastado acumuladas en inventario hasta 2014 y de los costos que en su oportunidad representaron su adquisición como catalizador nuevo, fueron estimados por el investigador, visualizándose en la siguiente Tabla N ° 41.

**Tabla N° 41. Costo por disposición de catalizador gastado y adquisición de catalizador nuevo de 550 toneladas acumuladas en inventario (647,6 m<sup>3</sup>)**

AÑO	* COSTO POR ADQUISICION CATALIZADOR FCC NUEVO		COSTO POR DISPOSICION CATALIZADOR FCC GASTADO		TOTAL COSTO CATALIZADOR DE FCC (ADQUISICION + ELIMINACION)	
	Bsf.	\$	Bsf.	\$	Bsf.	\$
	2014	15.686.000,00	2.489.841,27	2.674.588,00	424.537,78	18.360.588,00

Gastos estimados según inventario almacenado hasta 2014.

\* Costo estimado según lo que representaría su compra con la tasa de inflación actual.

-Paridad cambiaria: 1\$ = 6,30 Bsf.

- Costo catalizador nuevo: 1 Kg. = 28,52 BsF.

- Costo por disposición: 1m<sup>3</sup> = 4.130 Bsf

- 1m<sup>3</sup> de catalizador = 0,85 kg.

- 1 Ton de catalizador nuevo o usado = 1.176m<sup>3</sup>

Fuente: El Autor (2014).

La tabla anterior además de expresar los respectivos costos, evidencia que el catalizador, primeramente es un insumo para el proceso productivo de refinación que genera costos de adquisición y que cuando pasa a ser un desecho, pues también se adicionan costos para su eliminación.

La relación entre el porcentaje de reuso de las cantidades acumuladas de catalizador gastado de FCC (550 ton. = 647,6 m<sup>3</sup>) y el costo por la disposición final en 2014 de las cantidades restantes (no reusadas) a través de la técnica de co-procesamiento térmico se muestran en la tabla siguiente N° 42.

**Tabla N° 42. Relación entre el % de reuso de catalizador gastado de FCC almacenado como inventario y su costo por disposición final**

% REUSO	% CANTIDAD A REUSAR (TON)	% CANTIDAD A REUSAR (Kg.)	% CANTIDAD A REUSAR (M3)	CANTIDAD PENDIENTE ALMACENADA (M3)	* COSTO POR DISPOSICIÓN	
					Bsf.	\$
0	0	0	0	647,60	2.674.588,00	424.537,78
5	27,5	27.500,00	32,38	615,24	2.157.925,00	342.527,78
10	55	55.000,00	64,76	582,84	2.044.350,00	324.500,00
15	82,5	82.500,00	97,14	550,46	1.930.775,00	306.472,22
20	110	110.000,00	129,52	518,08	1.817.200,00	288.444,44
25	137,5	137.500,00	161,9	485,70	1.703.625,00	270.416,67
30	165	165.000,00	194,28	453,32	1.590.050,00	252.388,89
35	192,5	192.500,00	226,66	420,94	1.476.475,00	234.361,11
40	220	220.000,00	259,04	388,56	1.362.900,00	216.333,33
45	247,5	247.500,00	291,42	356,18	1.249.325,00	198.305,56
50	275	275.000,00	323,8	323,80	1.135.750,00	180.277,78
55	302,5	302.500,00	356,18	291,42	1.022.175,00	162.250,00
60	330	330.000,00	388,56	259,04	908.600,00	144.222,22
65	357,5	357.500,00	420,94	226,66	795.025,00	126.194,44
70	385	385.000,00	453,32	194,28	681.450,00	108.166,67
75	412,5	412.500,00	485,7	161,90	567.875,00	90.138,89
80	440	440.000,00	518,08	71,24	454.300,00	72.111,11
85	467,5	467.500,00	556,936	97,14	340.725,00	54.083,33
90	495	495.000,00	582,84	64,76	227.150,00	36.055,56
95	522,5	522.500,00	615,22	32,38	113.575,00	18.027,78
100	550	550.000,00	647,6	0	0	0

- Costo por disposición: 1m3 = 4.130 Bsf. - 1m3 de catalizador = 0,85 kg.

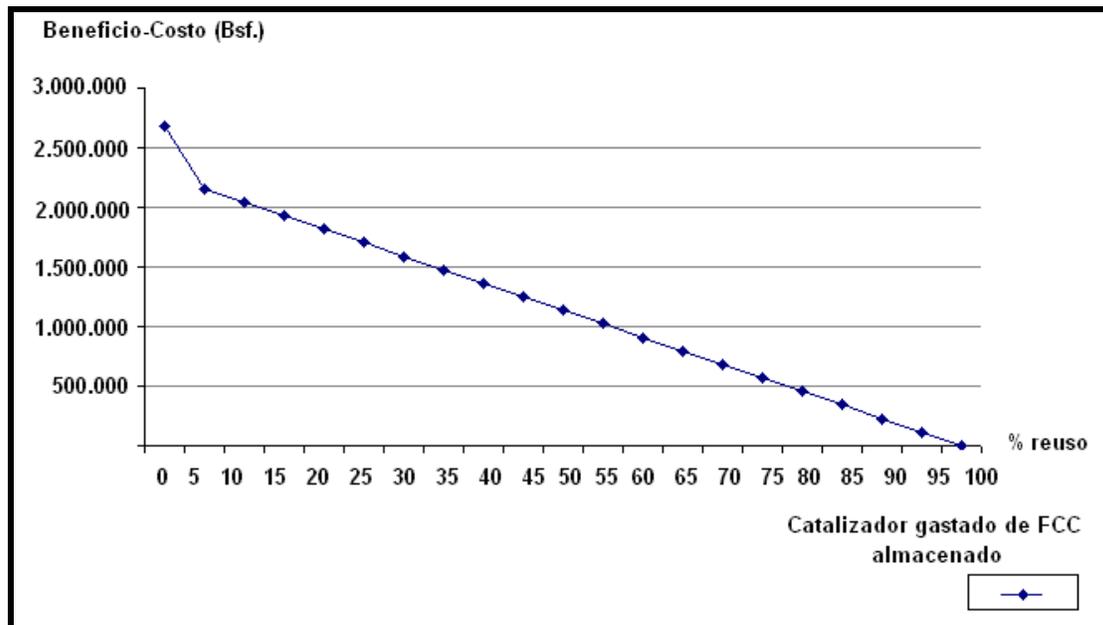
-Paridad cambiaria: 1\$ = 6,30 Bsf. 130 Bsf.

\* El costo por saneamiento representa a aquellas cantidades de catalizador gastado de FCC restantes que no se consideran para su reuso.

Fuente: El Autor (2014).

La relación entre el % de reuso de catalizador gastado de FCC almacenado como inventario y su costo por disposición final, expresado en bolívares y dólares, se muestran en las siguientes las figuras N° 15 y N° 16.

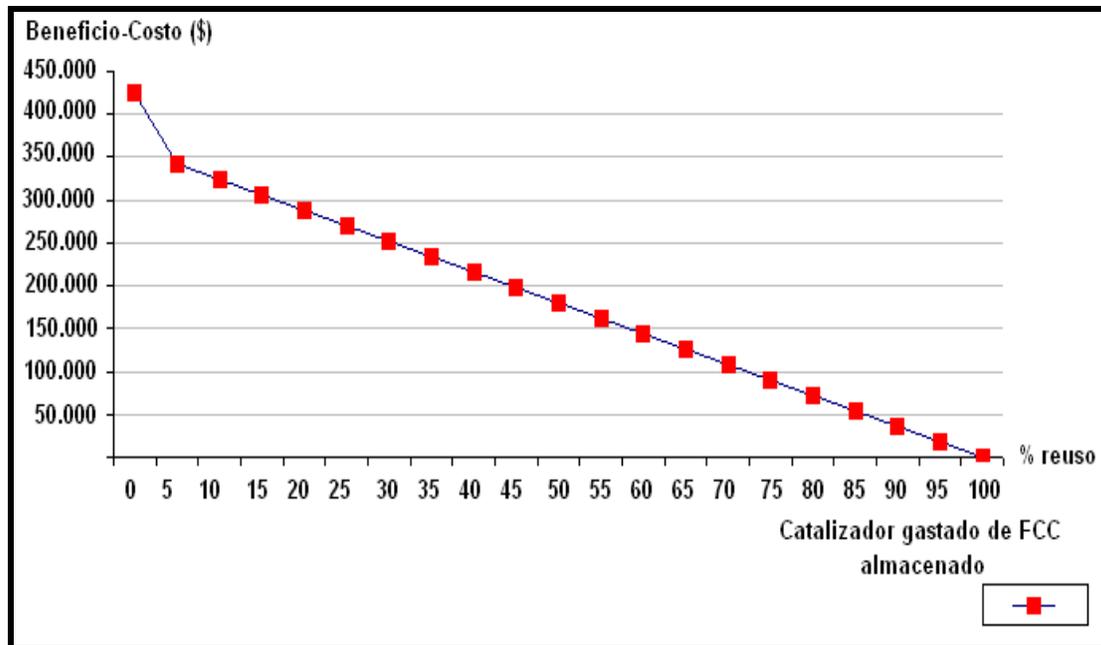
**Figura N° 25. Relación entre el % de reuso de catalizador gastado de FCC almacenado como inventario y su costo por disposición final, expresado en BsF**



Fuente: El Autor (2014).

El gráfico anterior evidencia la disminución progresiva en el costo económico expresado en bolívares por disposición final del desecho, a medida que el porcentaje reuso del mismo es mayor.

**Figura N° 26. Relación entre el % de reuso de catalizador gastado de FCC almacenado como inventario y su costo por disposición final, expresado en \$**



Fuente: El Autor (2014).

El gráfico evidencia la disminución progresiva en el gasto económico expresado en dólares por disposición final del desecho, a medida que el porcentaje reuso del mismo es mayor.

Los costos asociados a la disposición de la corriente anual de generación del desecho (2.550 toneladas por año) y los asociados con la adquisición del catalizador nuevo, en una proyección 2014-2023, se reflejan en la siguiente Tabla N° 42.

**Tabla N° 43. Costo por adquisición de catalizador nuevo y disposición de catalizador gastado en período 2014-2023 para 2.550 toneladas anuales generadas**

AÑO	COSTO POR ADQUISICION CATALIZADOR FCC NUEVO		COSTO POR DISPOSICION		TOTAL COSTO CATALIZADOR DE FCC (ADQUISICION + DISPOSICIÓN)	
	BsF.	\$	BsF.	\$	BsF.	\$
2013	72.726.000	11.543.809,52	12.321.855,00	1.955.850,00	85.047.855,00	13.499.659,52
2014	92.289.294,00	14.649.094,29	15.513.215,45	2.462.415,15	107.075.249,45	16.996.071,34
2105	116.561.378,32	18.501.806,08	19.593.191,11	3.110.030,33	135.236.040,05	21.466.038,10
2016	147.683.266,33	23.441.788,31	23.735.219,63	3.767.495,18	171.344.062,74	27.197.470,28
2017	187.557.748,24	29.771.071,15	30.143.728,93	4.784.718,88	217.606.959,68	34.540.787,25
2018	238.948.571,26	37.928.344,64	38.403.110,66	6.095.731,85	277.231.266,64	44.004.962,96
2019	305.137.325,50	48.434.496,11	49.040.772,31	7.784.249,57	354.024.327,49	56.194.337,70
2020	390.880.913,97	62.044.589,52	62.821.229,33	9.971.623,70	453505163,5	71.984.946,59
2021	501.891.093,54	79.665.252,94	80.662.458,46	12.803.564,83	582.300.629,96	92.428.671,42
2022	646.435.728,47	102.608.845,79	103.893.246,50	16.490.991,51	750.003.211,39	119.048.128,79
2023	835.194.961,19	132.570.628,76	134.230.074,47	21.306.361,03	969.004.149,11	153.810.182,40

-Paridad cambiaria: 1\$ = 6,30 BsF.

Costo catalizador nuevo: 1 Kg.= 28,52 BsF.

- Costo por disposición: 1m<sup>3</sup> = 4.130 BsF

- 1m<sup>3</sup> de catalizador = 0,85 kg.

- 1 Ton de catalizador nuevo o usado = 1.176m<sup>3</sup>

Fuente: El Autor (2014).

La tasa de inflación utilizada para los cálculos de las proyecciones de disposición del desecho, fue calculada mediante su serie histórica 1998-2012, según valores reportados por el Banco Central de Venezuela. Se realizó la estimación de la tasa de inflación del período 2014-2023 por el método de línea recta tomado en consideración el desenvolvimiento de esta variable durante el periodo de la referida serie histórica.

La formula obtenida fue:  $Y = 0,3572 * X + 19,915$ ; usando un factor de correlación  $R^2 = 0,0564$ .

La siguiente tabla muestra los valores de la serie histórica y proyección de la tasa de inflación según Banco Central de Venezuela.

**Tabla N° 44. Serie histórica y proyección de inflación según Banco Central de Venezuela**

X	Año	Inflación (Y)
1	1998	29,91
2	1999	20,03
3	2000	13,40
4	2001	12,30
5	2002	31,20
6	2003	27,08
7	2004	19,19
8	2005	14,36
9	2006	16,98
10	2007	22,46
11	2008	31,90
12	2009	26,91
13	2010	27,36
14	2011	28,99
15	2012	19,53
16	2013	25,63
17	2014	25,99
18	2015	26,34
19	2016	26,70
20	2017	27,06
21	2018	27,42
22	2019	27,77
23	2020	28,13
24	2021	28,49
25	2022	28,85
26	2023	29,20

Fuente: Banco Central de Venezuela. (2012).

La relación entre el porcentaje de reuso de la generación anual de catalizador gastado de FCC (2.500 ton/año) y el costo (expresado en bolívares) de disposición de las cantidades restantes (no reusadas) a través de la técnica de co-procesamiento térmico, de acuerdo con una proyección de una década (2014-2023) se muestran en la siguiente Tabla N° 44 .

**Tabla N° 45. Proyección 2014-2023 de la relación entre el % de reuso de catalizador gastado de FCC generado anualmente y su costo por disposición final, expresado en Bsf**

% REUSO	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0	15.513.215,45	19.593.191,11	24.824.573,13	31.527.207,88	40.165.662,84	51.291.551,44	65.704.477,40	84.364.548,98	108.661.539,09	116.093.718,39
5	12.596.200,58	15.909.001,33	20.156.704,68	25.599.014,94	32.613.145,04	41.646.986,21	53.349.789,34	68.501.129,51	88.229.454,81	94.264.130,32
10	11.933.242,65	15.071.685,47	19.095.825,49	24.251.698,37	30.896.663,72	39.455.039,57	50.541.905,69	64.895.806,91	83.585.799,30	89.302.860,30
15	11.270.284,73	14.234.369,61	18.034.946,29	22.904.381,79	29.180.182,40	37.263.092,93	47.734.022,04	61.290.484,30	78.942.143,78	84.341.590,29
20	10.609.926,64	13.400.337,34	16.978.227,41	21.562.348,81	27.470.432,38	35.079.742,15	44.937.149,70	57.699.300,22	74.316.698,68	79.399.776,23
25	9.944.368,88	12.559.737,89	15.913.187,91	20.209.748,64	25.747.219,77	32.879.199,64	42.118.254,74	54.079.839,09	69.654.832,75	74.419.050,25
30	9.281.410,95	11.722.422,03	14.852.308,71	18.862.432,06	24.030.738,45	30.687.253,00	39.310.371,09	50.474.516,48	65.011.177,23	69.457.780,23
35	8.618.453,03	10.885.106,17	13.791.429,52	17.515.115,49	22.314.257,13	28.495.306,36	36.502.487,44	46.869.193,88	60.367.521,71	64.496.510,22
40	7.955.495,10	10.047.790,31	12.730.550,32	16.167.798,91	20.597.775,81	26.303.359,71	33.694.603,79	43.263.871,27	55.723.866,20	59.535.240,20
45	7.292.537,18	9.210.474,45	11.669.671,13	14.820.482,34	18.881.294,50	24.111.413,07	30.886.720,14	39.658.548,67	51.080.210,68	54.573.970,18
50	6.629.579,25	8.373.158,59	10.608.791,94	13.473.165,76	17.164.813,18	21.919.466,43	28.078.836,50	36.053.226,06	46.436.555,16	49.612.700,17
55	5.966.621,33	7.535.842,73	9.547.912,74	12.125.849,18	15.448.331,86	19.727.519,79	25.270.952,85	32.447.903,45	41.792.899,65	44.651.430,15
60	5.303.663,40	6.698.526,87	8.487.033,55	10.778.532,61	13.731.850,54	17.535.573,14	22.463.069,20	28.842.580,85	37.149.244,13	39.690.160,13
65	4.640.705,48	5.861.211,01	7.426.154,36	9.431.216,03	12.015.369,22	15.343.626,50	19.655.185,55	25.237.258,24	32.505.588,62	34.728.890,12
70	3.977.747,55	5.023.895,16	6.365.275,16	8.083.899,46	10.298.887,91	13.151.679,86	16.847.301,90	21.631.935,64	27.861.933,10	29.767.620,10
75	3.314.789,63	4.186.579,30	5.304.395,97	6.736.582,88	8.582.406,59	10.959.733,21	14.039.418,25	18.026.613,03	23.218.277,58	24.806.350,08
80	2.651.831,70	3.349.263,44	4.243.516,77	5.389.266,30	6.865.925,27	8.767.786,57	11.231.534,60	14.421.290,42	18.574.622,07	19.845.080,07
85	1.988.873,78	2.511.947,58	3.182.637,58	4.041.949,73	5.149.443,95	6.575.839,93	8.423.650,95	10.815.967,82	13.930.966,55	14.883.810,05
90	1.325.915,85	1.674.631,72	2.121.758,39	2.694.633,15	3.432.962,64	4.383.893,29	5.615.767,30	7.210.645,21	9.287.311,03	9.922.540,03
95	662.957,93	837.315,86	1.060.879,19	1.347.316,58	1.716.481,32	2.191.946,64	2.807.883,65	3.605.322,61	4.643.655,52	4.961.270,02
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ver proyección de la inflación según serie histórica emitida por el Banco Central de Venezuela.

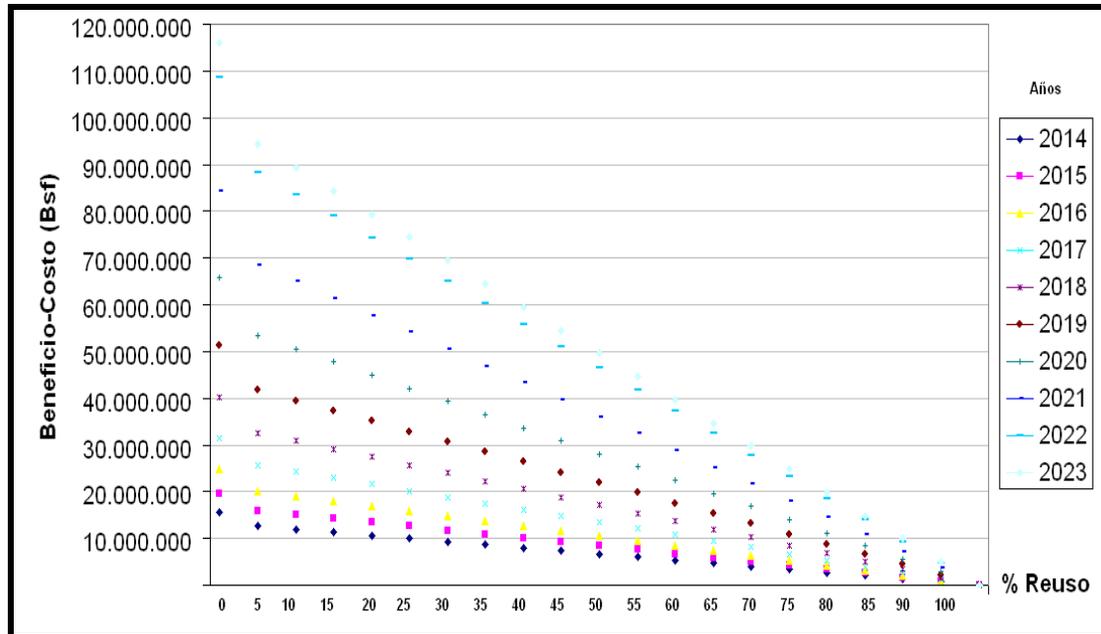
- Costo por disposición: 1m<sup>3</sup> = 4.130 Bsf

- 1m<sup>3</sup> de catalizador = 0,85 kg.

\* El costo por disposición final representa a aquellas cantidades de catalizador gastado de FCC restantes que no se consideran para su reuso.

Fuente: El Autor (2014).

**Figura N° 27. Proyección 2014-2022 de la relación entre el % de reuso de catalizador gastado de FCC generado anualmente y su costo por disposición final, expresado en Bsf**



Fuente: El Autor (2014).

El gráfico anterior muestra que el costo por disposición de catalizador gastado de FCC aumenta progresivamente con los años, por lo que el porcentaje de reuso del desecho permite eliminar los costos de disposición.

La relación entre el porcentaje de reuso de la generación anual de catalizador gastado de FCC (2.500 ton/año) y el costo (expresado en dólares) de disposición de las cantidades restantes (no reusadas) a través de la técnica de co-procesamiento térmico, de acuerdo con una proyección de una década (2014-2023) se muestran en la siguiente Tabla N° 45 .

**Tabla N° 46. Proyección 2014-2023 de la relación entre el % de reuso de catalizador gastado de FCC generado anualmente y su costo por disposición final, expresado en \$**

% REUSO	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0	2.462.415,15	3.110.030,33	3.940.408,43	5.004.318,71	6.375.502,04	8.141.516,10	10.429.282,13	13.391.198,25	17.247.863,35	18.427.574,35
5	1.999.396,92	2.525.238,31	3.199.476,93	4.063.335,71	5.176.689,69	6.610.632,73	8.468.220,53	10.873.195,16	14.004.675,37	14.962.560,37
10	1.894.165,50	2.392.331,03	3.031.083,41	3.849.475,93	4.904.232,34	6.262.704,69	8.022.524,71	10.300.921,73	13.267.587,19	14.175.057,19
15	1.788.934,08	2.259.423,75	2.862.689,89	3.635.616,16	4.631.774,98	5.914.776,66	7.576.828,90	9.728.648,30	12.530.499,01	13.387.554,01
20	2.001.575,66	2.127.037,67	2.694.956,73	3.422.595,05	4.360.386,09	5.568.213,04	7.132.880,90	9.158.619,08	11.796.301,38	12.603.139,08
25	1.578.471,25	1.993.609,19	2.525.902,84	3.207.896,61	4.086.860,28	5.218.920,58	6.685.437,26	8.584.101,44	11.056.322,66	11.812.547,66
30	1.473.239,83	1.860.701,91	2.357.509,32	2.994.036,84	3.814.402,93	4.870.992,54	6.239.741,44	8.011.828,01	10.319.234,48	11.025.044,48
35	1.368.008,42	1.727.794,63	2.189.115,80	2.780.177,06	3.541.945,58	4.523.064,50	5.794.045,63	7.439.554,58	9.582.146,30	10.237.541,30
40	1.262.777,00	1.594.887,35	2.020.722,27	2.566.317,29	3.269.488,22	4.175.136,46	5.348.349,81	6.867.281,15	8.845.058,13	9.450.038,13
45	1.157.545,58	1.461.980,07	1.852.328,75	2.352.457,51	2.997.030,87	3.827.208,42	4.902.653,99	6.295.007,72	8.107.969,95	8.662.534,95
50	1.052.314,17	1.329.072,79	1.683.935,23	2.138.597,74	2.724.573,52	3.479.280,39	4.456.958,17	5.722.734,30	7.370.881,77	7.875.031,77
55	947.082,75	1.196.165,51	1.515.541,71	1.924.737,97	2.452.116,17	3.131.352,35	4.011.262,36	5.150.460,87	6.633.793,59	7.087.528,60
60	841.851,33	1.063.258,23	1.347.148,18	1.710.878,19	2.179.658,82	2.783.424,31	3.565.566,54	4.578.187,44	5.896.705,42	6.300.025,42
65	736.619,92	930.350,95	1.178.754,66	1.497.018,42	1.907.201,46	2.435.496,27	3.119.870,72	4.005.914,01	5.159.617,24	5.512.522,24
70	631.388,50	797.443,68	1.010.361,14	1.283.158,64	1.634.744,11	2.087.568,23	2.674.174,90	3.433.640,58	4.422.529,06	4.725.019,06
75	526.157,08	664.536,40	841.967,61	1.069.298,87	1.362.286,76	1.739.640,19	2.228.479,09	2.861.367,15	3.685.440,89	3.937.515,89
80	420.922,81	531.629,12	673.574,09	855.439,10	1.089.829,41	1.391.712,15	1.782.783,27	2.289.093,72	2.948.352,71	3.150.012,71
85	315.694,25	398.721,84	505.180,57	641.579,32	817.372,06	1.043.784,12	1.337.087,45	1.716.820,29	2.211.264,53	2.362.509,53
90	210.462,83	265.814,56	336.787,05	427.719,55	544.914,70	695.856,08	891.391,63	1.144.546,86	1.474.176,35	1.575.006,35
95	105.231,42	132.907,28	168.393,52	213.859,77	272.457,35	347.928,04	445.695,82	572.273,43	737.088,18	787.503,18
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ver proyección de la inflación según serie histórica emitida por el Banco Central de Venezuela.

- Costo por disposición: 1m3 = 4.130 Bsf

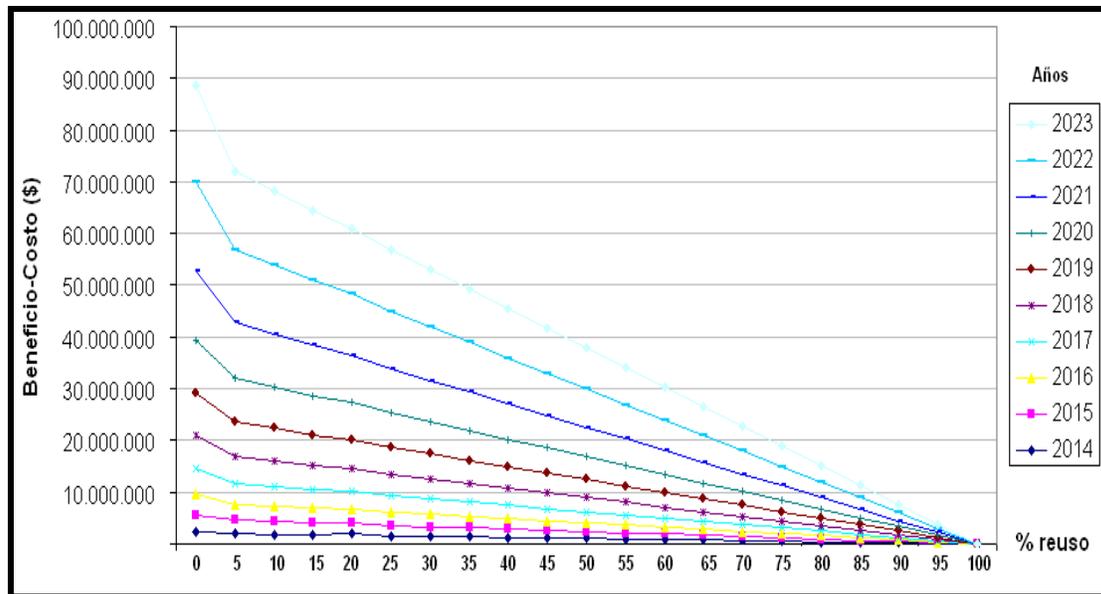
- 1m3 de catalizador = 0,85 kg.

-Paridad cambiaria: 1\$ = 6,30 Bsf. 130 Bsf.

\* El costo por disposición final representa a aquellas cantidades de catalizador gastado de FCC restantes que no se consideran para su reuso.

Fuente: El Autor (2014).

**Figura N° 28. Proyección 2014-2023 de la relación entre el % de reuso de catalizador gastado de FCC generado anualmente y su costo por disposición final, expresado en \$**



Fuente: El Autor (2014).

El gráfico evidencia que mientras aumenta el porcentaje de reuso de las cantidades anuales generadas, menor es el costo económico de disposición final por co-procesamiento térmico de las cantidades restantes sin reusar.

En definitiva el beneficio económico para PDVSA Refinería El Palito producto del reuso del desecho, se traduce en el ahorro en los costos de la disposición del mismo. Asumiendo que el reuso del desecho se convierta en una práctica oportuna en la gestión del mismo, en esta medida se contribuye con la conservación del ambiente, dado que se evitaría el mecanismo actual de su incorporación a través de co-procesamiento térmico en la industria cementera para la generación de energía, que atrae consigo la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

El co-procesamiento térmico se alimenta con residuos de naturaleza variada con poder calorífico aprovechable (aceites, solventes, grasas, hidrocarburos contaminados, lodos

orgánicos, resinas, textiles, plástico, madera, cuero, catalizadores gastados etc.), mezclados en la carga de incineración sin distinción ni separación, por lo que se constituyen en desechos tóxicos y peligrosos que poseen contaminantes propios o que favorecen su formación en productos secundarios que se emiten a la atmósfera en el flujo de gases y partículas finas ricas en metales pesados (plomo, cromo, níquel, vanadio y mercurio), dioxinas, bifenilos policlorados (PCB's), naftalenos policlorados, bencenos clorados, hidrocarburos poliaromáticos (PAH's) y numerosos compuestos orgánicos volátiles (COV's).

La mayoría de estas sustancias son persistentes (resistentes a la degradación en el medio ambiente), bioacumulativas (se acumulan en los tejidos de organismos vivos) y tóxicas, asignándole propiedades que los convierten en los contaminantes al entorno natural; otras son cancerígenas, actuando como disruptores hormonales y otras como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) o el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), así como las partículas finas, se han asociado con trastornos del sistema respiratorio.

De acuerdo con lo anterior, Allsopp M. et al (2001) de GREENPEACE, argumentaron que las técnicas de incineración de desechos no resuelven el problema de las sustancias tóxicas presentes en ellos, sino que únicamente las transforman, en algunos casos, en formas más tóxicas que las originales.

La consideración anterior y otras condiciones de desventajas del co-procesamiento, en relación con el reuso del catalizador gastado de FCC, fueron reseñadas por el investigador en la siguiente Tabla N° 46.

**Tabla N° 47. Ventajas y desventajas de alternativas en el manejo del catalizador gastado de FCC.**

ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DESECHO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>REUSO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No genera emisiones atmosféricas.</li> <li>▪ No genera costos de disposición final.</li> <li>▪ El catalizador es concebido como un residuo o subproducto aprovechable.</li> <li>▪ El reuso del catalizador le asigna una propiedad de valorización económica a futuro.</li> <li>▪ El catalizador posee utilidad de aprovechamiento para revestimientos.</li> <li>▪ Aprovechamiento total del desecho.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No existen antecedentes concretos de aprovechamiento bajo la propuesta de la investigación</li> </ul>
<b>DISPOSICION FINAL POR COPROCESAMIENTO TÈRMICO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Capacidad de disponer de forma final grandes cantidades del desecho.</li> <li>▪ Disminución de las cantidades almacenadas y de la corriente anual de desechos en forma rápida.</li> <li>▪ Tratamiento autorizado por la Autoridad Ambiental Nacional.</li> <li>▪ Disposición total del desecho.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Genera emisiones atmosféricas.</li> <li>▪ Genera costos de disposición final.</li> <li>▪ Requiere del uso de combustibles fósiles no renovables como fuente de energía.</li> <li>▪ El catalizador es concebido como un desecho sin utilidad.</li> <li>▪ El catalizador no posee valorización económica alguna.</li> </ul>

Fuente: El Autor (2014).

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

1.- El reuso de los finos catalizador gastado de FCC se propone solo para aquellas cantidades sometidas previamente a una caracterización ambiental de peligrosidad de acuerdo al Decreto N° 2.635, que demuestre su naturaleza no peligrosa.

2.- Los resultados de la caracterización del catalizador gastado de FCC indican que es un desecho no peligroso de acuerdo a los parámetros referidos por el Decreto N° 2.635, presentando un pH de 6,25, siendo no inflamable (>250 °C), con reactividad simple no detectada, no reactivo (reactividad al Ácido Sulfhídrico de 0,8 mg/Kg y reactividad al Ácido Cianhídrico (HCN) de 0,07 mg/Kg, según regulaciones de la U.S.E.P.A), análisis de metales en muestra real y de hidrocarburos aromáticos policíclicos con valores inferiores a los reglamentados por el Anexo C, Artículo 5 del Decreto N° 2635, análisis de metales lixiviados con valores inferiores a los reglamentados por el Anexo D del Decreto N° 2635, siendo no toxico y con corridas cromatográficas realizadas en lixiviados para análisis de compuestos orgánicos volátiles con valores inferiores a los reglamentados por el Anexo D, Artículo 5 del respectivo decreto.

3.- En el bloque constituido por un mortero seco donde se usó 50% de catalizador gastado de FCC en su proporción de mezcla (sustituyendo a la proporción de cemento usada en una mezcla tradicional para mortero de revestimiento), los análisis de peligrosidad, registran valores superiores en comparación a los obtenidos en el catalizador gastado de FCC (polvo), obteniéndose un pH en solución acuosa de 12,02, reactividad al Ácido Sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) de 0,8 mg/Kg. y reactividad al Ácido Cianhídrico (HCN) de 0,4 mg/Kg., sin embargo se ajustan a lo normado por el Decreto N° 2.635 (métodos 1002 y 1001 suscritos por la EPA), por lo que el desecho no es reactivo.

4.- Los valores de las trazas de metales pesados detectados en la muestra de catalizador gastado de FCC (polvo) estando por debajo del límite reglamentado por el Decreto Nº 2.635 (0,090 mg/L. para el Níquel y 0,010 mg/L. para el Plomo), desaparecieron como valores no detectados para el bloque de catalizador gastado de FCC donde se uso 50% de sustitución del cemento en su proporción de mezcla, evidenciando que cuando se reusa el desecho en morteros para revestimiento, el contenido de trazas de metales que pudiese haber en su composición, queda inmerso dentro de la matriz, sin capacidad de lixiviarse y por lo tanto, sin representar ninguna peligrosidad a la salud humana o al ambiente.

5.- La experimentación permitió el diseño de tres (3) tipos de mezclas identificadas como: mortero patrón, mortero con catalizador de FCC al 15% y mortero con catalizador de FCC al 50%, para lo cual se usaron las mismas cantidades de agua y arena (fina-cernida), variando sólo la relación de proporción entre el cemento (Portland CPCA2) y el catalizador gastado de FCC.

6.- A medida que aumenta la cantidad de catalizador gastado de FCC utilizado en la mezcla para morteros de revestimiento (hasta 50%), disminuye su manejabilidad en estado plástico, por lo que su tiempo de aplicación debe ser mayor al que requieren las otras dos (2) mezclas consideradas en la investigación.

7.- La adición de catalizador gastado de FCC en las mezclas para morteros para revestimiento (hasta un 50% como sustituto del cemento), altera levemente su color en estado seco, haciéndose más oscuro en la medida que aumenta el porcentaje de reuso del desecho; además no interfiere en su acabado final, por lo que no genera grietas ni fisuras al ser aplicado en paredes.

8.- La experimentación demostró que la adición de catalizador a razón de 15% de sustitución del cemento en un mortero de revestimiento, aumenta levemente la resistencia mecánica del mismo, al compararse con un mortero patrón. El mortero en

estado plástico se hace un poco menos manejable y por lo tanto el tiempo en ser aplicado debe ser un poco menor.

9.- La adición de catalizador al 50% como sustitución del cemento en un mortero de revestimiento, evidencia que disminuye la resistencia mecánica del mismo y aumenta levemente su adherencia, cuando se compara con un mortero patrón.

10.- La granulometría fina del catalizador gastado de FCC (5-20 micrones), permite considerarlo como un polvo fino con capacidad de dispersión por el aire que pudiese ingresar a las vías respiratorias (inhalación) cuando la exposición es prolongada y mientras sea manipulado sin la protección personal correspondiente, por lo que las implicaciones en la salud del ser humano (toxicidad no demostrada) pueden ser controladas mediante el uso de una mascarilla.

11.- El reuso de los finos de catalizador gastado de FCC se constituye como el mecanismo ambientalmente más eficiente dentro de la gestión del desecho, por cuanto, se evita darle disposición final, y más bien, se utiliza para otras aplicaciones prácticas productivas. Reusar el desecho evita el uso de combustibles fósiles requeridos para su co-procesamiento como mecanismo actual de disposición, ahorra energía, evita emisiones atmosféricas contaminantes, ahorra costos operativos y permite la sustitución gradual de cemento en las mezclas para morteros de revestimiento, permitiendo ahorro de materia prima en el sector de la construcción.

12.- Mientras mayor es el porcentaje de reuso de las cantidades inventariadas de catalizador gastado de FCC (550 toneladas) y de las respectivas corrientes anuales de generación (2.500 toneladas), se incrementa el beneficio económico para PDVSA Refinería El Palito, por cuanto reduciría el costo de disposición por co-procesamiento térmico en la industria cementera nacional, traduciéndose en un ahorro significativo y el desecho se convertiría más bien en un residuo, con potencial valorizable y con utilidad práctica de aprovechamiento.

13.- El alto contenido de alúmina y sílice del desecho, lo hace apto para mejorar las resistencias mecánicas de los materiales de construcción, por lo que la investigación resalta la importancia de su utilización en la sustitución de cemento, además que propende a la disminución en su consumo, contribuyendo a la conservación ambiental.

## RECOMENDACIONES

- 1.- Considerar evaluar a futuro, el reuso de muestras de catalizador gastado de FCC que resulten peligrosas según previa caracterización ambiental referida por el Decreto N° 2.635, como complemento a la presente investigación, para determinar si éstos constituyentes peligrosos son capaces o no de desprenderse de la matriz del mortero de revestimiento, tanto en muestra real como en lixiviados.
- 2.- Para aquellas cantidades del desecho que previamente según caracterización ambiental, se demuestren que no son peligrosas, se recomienda que no se dispongan por co-procesamiento térmico, sino mas bien, se reusen para su aplicación en revestimientos.
- 3.- Reusar en morteros de revestimiento y en obras civiles de PDVSA, aquellas cantidades del desecho que previamente según caracterización ambiental, se demuestren que no son peligrosas, evitando su disposición por co-procesamiento térmico.
- 4.- Mientras se manipule el desecho, se recomienda el uso de una mascarilla para protección contra polvo de sílice y/o alúmina, debiendo cumplir con las especificaciones de calidad aprobadas por la norma COVENIN 1056/II-91 "Equipos de protección respiratoria contra partículas" y por los 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 Administración o Administración de Seguridad y Salud Ocupacional), y ANSI (American National Standards Institute o Instituto de Estándares Nacionales Americanos), en su capacidad de poseer alta eficiencia.
- 5.- Usar la debida protección ocular (lentes), además de guantes, cuando se manipule el desecho y especialmente cuando la exposición sea prolongada, siendo una condición recomendada por la respectiva hoja de seguridad y ficha técnica de adquisición del catalizador nuevo. Esta consideración es extensiva para la manipulación de la arena, y principalmente para el cemento.

6.- Profundizar en una investigación sobre el reuso de los finos de catalizador gastado de FCC en morteros para concreto.

7.- Ahondar en una investigación sobre las proporciones de reuso de los finos de catalizador gastado de FCC como sustitución de la arena en una mezcla de mortero para revestimiento o para concreto.

8.- Involucrar a INTEVEP y diversos centros de investigación de PDVSA para que mediante su propia experimentación, se proceda a la verificación y posible certificación de los resultados reseñados en la investigación, con la finalidad de asegurar de acuerdo con sus intereses, las futuras estrategias para el reuso del desecho.

9.- Revisar las normas PDVSA “MA-01-02-05: Manejo integral de catalizadores gastados” y PDVSA “MA-01-02-11: Gestión integral de materiales peligrosos recuperables y desechos peligrosos”, donde se refiera que indistintamente de la naturaleza peligrosa o no del desecho (dictaminada por una previa caracterización ambiental), éste pueda reusarse como agregado en morteros de revestimiento en la industria petrolera.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLSOPP, M.; COSTNER, P. y JHONSTON, P. (2001). **Incineración y Salud: Conocimientos Actuales Sobre los Impactos de las Incineradoras en la Salud Humana**. GREENPEACE. Universidad de Exeter, Reino Unido.
- ANAND, S., VRAT, P. y DAHIYA, R. (2006). **Application of a system dynamics approach for assessment and mitigation of CO2 emissions from the cement industry**. Journal of Environmental Management 79.
- 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**.
- Asociación Nacional de fabricantes de Mortero seco en España. (2010). **Propiedades de los morteros de revestimiento**. Disponible en: <http://www.construmatica.com/construpedia/Categor%C3%ADa:AFAM>.
- ASTM D-140. **“Standard Practice for Sampling Bituminous Materials”**. American Society for Testing Materials.
- ASTORGA, A. y RIVERO, P. (2009). **Definición de términos básicos**. Módulo II: Sección I. **Centro de Investigación en Gestión Integral de Riesgos (CIGIR)**. Universidad de Los Andes- Venezuela.
- AULAR, M. (2010). **“Instructivo para la Trascrición de los Proyectos de Investigación”**. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Valencia-Venezuela.
- Banco Central de Venezuela. (2012). **Serie anual del IPC 1950-2012**. Disponible en: <http://www.josebhuerta.com/inflacion.htm>.
- BASALDELLA, E. (2010). **Síntesis de compuestos zeolíticos y materiales relacionados para su empleo en procesos de purificación de medios fluidos mediante técnicas de adsorción e intercambio iónico**. CINDECA: Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas. Universidad de la Plata-Argentina.
- BASTOS V., CARRILLO Y., SALAZAR A., GARCÍA J. y DELGADO B. (2011). **Caracterización química de catalizadores gastados de las unidades de craqueo catalítico (FCC) de las refinerías de El Palito y Amuay, para estudiar su potencial utilización en la formulación de lechadas de cemento para pozos de hidrocarburos y/o gas**. INT-1257. PDVSA-Intevep. Los Teques, Venezuela.

BERGER, B. Y ANDERSON K. (1992). **Petróleo Moderno, un Manual Básico de la Industria.** Tercera Edición. Pennwell Editorial: Oklahoma- EE.UU.

**Constitución de la República Bolivariana de Venezuela** (1999). Publicada en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5.453 de la República Bolivariana de Venezuela. 24 de marzo de 2000.

CORTÉS, V. (2012). **La Puzolana.** Disponible en: [http://www.uclm.es/cr/EUP-ALMADEN/aaaeupa/boletin\\_informativo/pdf/boletines/10/12.%20LA%20PUZOLAN A.pdf](http://www.uclm.es/cr/EUP-ALMADEN/aaaeupa/boletin_informativo/pdf/boletines/10/12.%20LA%20PUZOLAN A.pdf). (Consulta: Junio, 2013).

COVENIN 484-93. **Cemento Pórtland. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en probetas cúbicas de 50,8mm de lado.** 3ra. Revisión.

COVENIN 1056/II-1991 **“Equipos de protección respiratoria contra partículas”.** Parte II. FONDONORMA.

COVENIN 3060-2002. **Materiales Peligrosos. Clasificación, símbolos y dimensiones de señales de identificación.** 1ra. Revisión. FONDONORMA.

COVENIN 3134(R). **Cemento Pórtland con Adiciones. Requisitos.** FONDONORMA.

COVENIN 3521-199. **Morteros adhesivos, a base de ligantes hidráulicos, de baja absorción de agua, para la colocación de revestimientos cerámicos, graníticos, calcáreos y pétreos. Determinación de la adherencia.** FONDONORMA.

DAU Metal Venezuela. (2009). **Manejo de catalizadores gastado de molibdeno y vanadio.**

Decreto 638. **Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica.** Gaceta Oficial No 4.899 Extraordinario del 19 de mayo de 1995

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° 4.418 del 27 de abril de 1992.

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.

Enciclopedia Británica. (2007). **Making Cement.** Microsoft Corporation.

ESTRADA, F. Y ZEIS, R. (2013). **Evaluación del Friso Gueso Reforzado con Fibras de Acero.** Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Civil. Departamento de Materiales y Ensayos. Universidad de Carabobo. Valencia-Venezuela.

Federación Interamericana de Cemento FICEM (2013). Informe Estadístico.

FABBRI, M. (1998). **Las técnicas de investigación: La observación**. Disponible en: <http://www.fhumyar.unr.edu.ar/escuelas/3/materiales%20de%20catedras/trabajo%20de%20campo/solefabri1.htm>. (Fecha consulta: Julio de 2013).

FARIÑAS, A.; GÓMEZ, M.; RAMOS, Y. y RIVERO, Y. (2010). **Espacio Informativo propuesto por el rol de medios: Universidad de Oriente**. Disponible en: <http://bloquemetodologicodelainvestigacionudo2010.wordpress.com/tecnicas-e-instrumentos-de-recoleccion-de-datos/>  
<http://bloquemetodologicodelainvestigacionudo2010.wordpress.com/tecnicas-e-instrumentos-de-recoleccion-de-datos/>. (Fecha consulta: Julio de 2013).

Fundación Cema. (2012). **Procedimiento gestión de residuos peligrosos industriales**. España. Disponible en: [http://www.recuperaresiduosencementeras.org/reportaje.asp?id\\_rep=101](http://www.recuperaresiduosencementeras.org/reportaje.asp?id_rep=101)

Geocycle El Salvador (2010). **¿Qué es el co-procesamiento?**. Disponible en: <http://www.geocycle.com.sv/gestion-de-residuos/como-funciona-el-coprociamiento.html>

Grupo Cementos Portland Valderrivas. (2010). **¿Qué es el mortero?**. Disponible en: <http://www.valderrivas.es/es/portal.do?IDM=107&NM=3>

HERNÁNDEZ, R.; FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. (2006). **Metodología de La investigación**. Cuarta Edición: Caracas-Venezuela.

Informe de Estado del Medio Ambiente (2012). **Valorización de residuos industriales**. Gobierno de Navarra-España. Disponible en: [http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/64B3E1DE-D378-4359-B19E-67479B353BBF/0/5valorizacion\\_residuos\\_industriales.pdf](http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/64B3E1DE-D378-4359-B19E-67479B353BBF/0/5valorizacion_residuos_industriales.pdf)

ISO/IEC 17025:2005. **“General requirements for the competence of testing and calibration laboratories”**. International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission.

JIMENEZ, E. (2006). **Experimentación**. Disponible en: <http://proyectoempresarial.files.wordpress.com/2009/10/017-experimentacion.pdf>. (Fecha de consulta: Julio de 2013).

2013. 21st Joint GCC-Japan Environment Symposium in Qatar. **Solutions for re-use of spent catalyst from RFCC.** ORPIC. Oman Oil Refineries and Petroleum Industries Company.
- LAUPHAN, W. (2006). **El dato científico y la matriz de datos.** Universidad Nacional de Entre Ríos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Argentina.
- Ley de Gestión Integral de la Basura.** Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. Nº 6.017 Extraordinario del 30 de diciembre de 2010.
- Ley Orgánica del Ambiente.** Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela Nº 31.004 del 16 de junio de 1976.
- Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos.** Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. Nº 5.554 Extraordinario del 13 de noviembre de 2001.
- LOBO, J. (2012). **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.** Universidad Bolivariana de Venezuela. Trabajo de Grado para optar al título de Especialista en Ambiente en los Procesos de la Industria Petrolera.
- LÓPEZ, L. (1992). **Manual para el constructor popular.** Caracas, Venezuela
- MEDRANO, K. (2010). **Arquitectura y construcción: Arquitectura, materiales y riesgos en construcción.** Disponible en: <http://katiuskamedranodiaz.blogspot.com/2010/01/revestimiento.html>
- MOP (1962). **Normas para la construcción de edificios. Revestimiento y acabados en paredes y otros elementos.** Ministerio de Obras Públicas. Venezuela.
- MORA, K. (2008). **Caracterización de catalizadores: una necesidad en Refinación.** Refinado Ideas: Boletín Refinación e Industrialización. Nº 11/12-2008.
- PAYA, J.; Borrachero, V.; Monzo, J. y Soriano, L. (2009). **Estudio del comportamiento de diversos residuos de catalizadores de craqueo catalítico (FCC) en cemento Portland.** Materiales de Construcción Vol. 59, 296, 37-52, España.
- PDVSA. (2001). **Inventario de desechos sólidos recuperables no peligrosos de la Refinería El Palito.** Gerencia de Seguridad Higiene y Ambiente.

- PDVSA. (2005). **Introducción a los Procesos de Refinación**. Manual de Refinación. PDVSA-Refinería El Palito.
- PDVSA. (2008). **MA-01-02-05. Manejo integral de catalizadores gastados**.
- PDVSA. (2014). **MA-01-02-11 Gestión integral de materiales peligrosos recuperables y desechos peligrosos**.
- REHAN, R. Y NEHDI, R. (2005). **Carbon dioxide emissions and climate change: policy implications for the cement industry**. Environmental Science and Policy 8.
- ROMÁN, L.; MONTENEGRO, M. y TAPIA, R. (2006). **La investigación, eje fundamental de la enseñanza del derecho. Guía Práctica**. Universidad Cooperativa de Colombia: Facultad de Derecho.
- SALAZAR, A. (2012). **Las puzolanas**. Disponible en: <http://www.ecoingenieria.org/docs/Puzolanas.pdf>. [Consulta: Junio, 2013].
- SAMPIERI, R.; FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. (1991). **Metodología de la Investigación**. Caracas-Venezuela.
- SANTAMARÍA, M. (2008). **Efectos del material particulado en la salud. Departamento de Química y Edafología de la Universidad de Navarra-España**. Revista Nº 10. Sumario zh10. Disponible en: [http://www.zonahospitalaria.com/noticias/zh\\_10/efectos\\_material\\_artic.shtml](http://www.zonahospitalaria.com/noticias/zh_10/efectos_material_artic.shtml). [Consulta: Junio, 2013].
- SEMA, P. (2001). **Disposición de materiales sólidos recuperables y no peligrosos producidos por la Refinería El Palito**. Universidad Simón Bolívar. Informe de pasantía.
- SORIANO, L. (2007). **Nuevas aportaciones en el desarrollo de materiales cementantes con residuo de Catalizador de Craqueo Catalítico Usado (FCC)**. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería Civil. Tesis Doctoral. Valencia-España.
- THOMAS, R. (2009). **Factibilidad de instalación de un incinerador de desechos y materiales peligrosos (sólidos y líquidos) en la Refinería El Palito**. Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda". Programa de Ingeniería Química. Punto Fijo, estado Falcón.

- TORRES, J.; IZQUIERDO S.; TROCHEZ, J. y MEJÍA, R. (2012). **Estudio comparativo de pastas de cemento adicionadas con catalizador de craqueo catalítico usado (FCC), y metacaolín (MK)**. Ciencia e ingeniería neogranadina, vol 22-1, pp. 7 - 17, Bogotá-Colombia.
- TORRES, N. y TORRES, J. (2010). **Uso del catalizador gastado de craqueo catalítico (FCC) como adición puzolánica** – revisión. Ingeniería e Investigación Vol. 30 No. 2, (35-42). Colombia.
- TROCHEZ, J.; TORRES J. y MEJÍA, R. (2010). **Estudio de la hidratación de pastas de cemento adicionadas con catalizador de craqueo catalítico usado (FCC) de una refinera colombiana**. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia, Colombia. N.º 55 pp. 26-34.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2006). **Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales**. (4ª ed.). Caracas: Autor.
- 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, 2013].
- Viewpoint (1998). **Developing country's perspective on COP3 development (Kyoto Protocol)**. Energy Policy 26.
- ZACARÍAS, E. (2000). **Así se Investiga: Pasos para hacer una Investigación**. Clásicos Roxsil. El Salvador.

ANEXOS

Anexo A. Hoja Técnica del cemento CPCA2.

## Maestro® Portland Tipo CPCA2

Para usos generales en concreto

CEMENTO



Ventajas

Usos



Este producto es fabricado con materias primas de calidad, mediante la molienda conjunta de clinker y yeso, cumpliendo con los requisitos de la Norma COVENIN 3134:2004.

- Producto fabricado con estrictos controles de calidad.
- Resistencias adecuadas a sus usos.
- Buena manejabilidad, consistencia suave y uniforme.
- Mejores acabados.

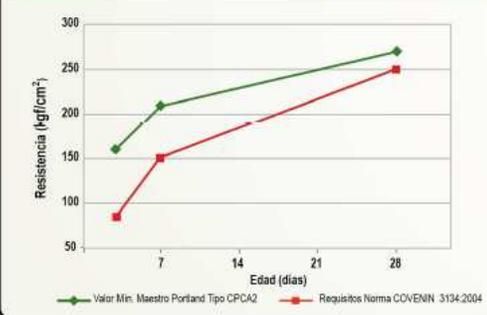
-  Estructuras convencionales
-  Frisos
-  Pega de bloques
-  Aceras



**Presentación:**  
• Sacos de 42,5 Kg




### Desarrollo de Resistencias a la Compresión Cemento Maestro Portland Tipo CPCA2



RIF: J-07500073-0 - Mercado - Marzo 2013

Análisis Físico	Valores Promedios		Especificaciones Norma COVENIN 3134:2004	
<b>Resistencia a la Compresión</b>	MPa	kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	kgf/cm <sup>2</sup>
R3d	> 16	> 160	> 8,3	> 86
R7d	> 21	> 210	> 14,7	> 160
R28d	> 27	> 270	> 24,5	> 260

#### Precauciones

 En caso de contacto por tiempo prolongado utilice equipo protector: guantes, mascarilla y lentes.

 Cargue el saco adecuadamente para evitar accidentes y roturas.

 Manténgase en un ambiente seco y protegido contra la humedad.

 Prevenga el contacto con piel, ojos y mucosas.

 Manténgase alejado del alcance de los niños.

#### Recomendaciones

- Almacene en pilas no mayores a 10 sacos.
- Use materiales limpios y libres de desecho.
- Coloque la cantidad de agua mínima necesaria hasta alcanzar una mezcla homogénea.
- Prepare solo la cantidad de mezcla requerida.

(1) La dosificación suministrada está basada en la experiencia y pruebas realizadas en nuestro Centro de Asistencia Técnica (CAT).

#### Dosificación Recomendada<sup>(1)</sup> para Sacos MAESTRO de 42,5 kg

Para construir:	Resistencia kgf/cm <sup>2</sup>	Saco MAESTRO	Pala Arena	Pala Piedra	Cuchete Agua
 Aceras  Brocales  Nivelaciones	180	<b>1</b>	18	13	1 - 1 <sup>1/4</sup>
 Pisos, Placas  Platabandas  Escaleras Canales	210	<b>1</b>	15	12	1
 Fundaciones  Columnas  Machones Vigas	250	<b>1</b>	14	11	3/4 - 1

Fuente: INVECEM (2014).

## Anexo B. Hoja de Seguridad del Catalizador de FCC (nuevo).

			
The Chemical Company		Material Safety Data Sheet	
		MSDS Code: EC-1880-3	
<b>ALL FLUID CRACKING CATALYSTS (SERIES): 5,000-10,000 Series, Controlefin™, Dimension™, Dynasiv™, EC, Endurance™, Flexcat™, Flex-Tec™, Flex-Tec II, HEZ™, IMP, L Grades, Magnasiv™, Maximum Propylene Solution, Maxol™, Millennium™, MPS Series, NaphthaMax™, NaphthaMax™ II, Octasiv™, Octidyne™, PetroMax™, PCG Grades, Precision™, Reduxion™, Syntec™, Ultrium™, Vektor™, X Grades</b>			
Revision date:	02/08/07	Date Printed:	06/13/07
<u>NFPA Classification:</u>		<u>HMIS Classification:</u>	
Health:	0	Health:	1 *
Flammability:	0	Flammability:	0
Instability:	0	Physical Hazard:	0
Special Hazards:		Personal Protection:	A
* Indicates possible chronic health effects.			
<b>1. CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION</b>			
Common Name:	Clay Processed For Catalyzing Purposes, Processed Clay, Synthetic Clay		
Chemical Name:	Chemical Mixture		
Product Use:	Petroleum catalyst.		
Supplier:	BASF Catalysts LLC 100 Campus Drive Florham Park, NJ 07932		
	For Chemical Emergency Call: BASF Hotline: 1-800-832-HELP CHEMTREC (24 hours): 1-800-424-9300 (US, Canada, Puerto Rico, Virgin Islands) 1-703-527-3887 (Outside Above Area)		

2. COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS		
<b>BASF - The Chemical Company</b>		<b>MSDS code: EC-1880-3</b>
<b>Material Safety Data Sheet</b>		<b>Revision date: 02/08/07</b>
Ingredient CAS Number	Weight in Percent (%)	Notes
Rare Earth Oxide	0-9	None.
Calcium Oxide 1305-78-8	0-5	None.
Magnesium Oxide 1309-48-4	0-9	None.
Phosphorus Compound	0-4	None.
Kaolin 1332-58-7	20-80	*Naturally occurring chemical substance per TSCA, 40 CFR 710.4(b).
Silica 7631-86-9	0-25	None.
Aluminum Oxide 1344-28-1	0-25	None.

3. HAZARDS IDENTIFICATION	
<u>Emergency Overview:</u>	
Color:	White
Form:	Powder
Odor:	Odorless
Flash Point, °C:	Nonflammable
<p><b>Most Important Hazards:</b> Prolonged or repeated exposure to dust may cause pulmonary problems. Contact with eyes and skin may result in irritation. Inhalation may result in respiratory irritation. May be harmful if large amounts are swallowed. May cause pain, nausea, vomiting and diarrhea.</p>	
<u>Potential Health Effects:</u>	
Inhalation:	May cause irritation of the respiratory tract. May result in coughing, difficulty breathing and sore throat.
Ingestion:	May cause irritation if large amounts are ingested. May cause pain, nausea, vomiting and diarrhea.
Skin Contact:	May cause skin irritation.
Eye Contact:	May irritate eyes.
<u>Carcinogenicity:</u>	

BASF - The Chemical Company			MSDS code: EC-1880-3		
Material Safety Data Sheet			Revision date: 02/08/07		
Ingredient CAS Number	Weight in Percent (%)	NTP (Y/N)	IARC (See Notes)	OSHA (Y/N)	ACGIH (See Notes)
Rare Earth Oxide	0-9	N	N	N	N
Calcium Oxide 1305-78-8	0-5	N	N	N	N
Magnesium Oxide 1309-48-4	0-9	N	N	N	A4
Phosphorus Compound	0-4	N	N	N	N
Kaolin 1332-58-7	20-80	N	N	N	A4
Silica 7631-86-9	0-25	N	N3	N	N
Aluminum Oxide 1344-28-1	0-25	N	N	N	A4

Notes:  
IARC: Y1=Carcinogenic to humans; Y2A=Probably carcinogenic to humans; Y2B=Possibly carcinogenic to humans; N3=Not classifiable as to its carcinogenicity; N=Not studied or probably not carcinogenic.  
ACGIH: A1=Confirmed human carcinogen; A2=Suspected human carcinogen; A3=Confirmed animal carcinogen; A4=Not classifiable as a human carcinogen; A5=Not suspected as a human carcinogen; N=Not studied.

**Chronic Health Hazards:** Prolonged or repeated exposure to dust may cause pulmonary problems. May cause benign pneumoconiosis. Long-term exposure, to extremely high levels of dust, may result in progressive fibrosis with lung function impairment. Chronic exposure to dust, vapor or fume may cause headache, nausea, sensitivity to heat, itching and an increased awareness of odor and taste.

**Aggravated Medical Conditions:** Pulmonary disorders. Dermal ailments. Allergies.

4. FIRST AID MEASURES	
<b>Inhalation:</b>	Move person to fresh air. If breathing is difficult, oxygen should be administered by qualified personnel. Call a physician.
<b>Ingestion:</b>	Procedures normally not needed. If large amounts are ingested, and person is conscious and able to swallow, give large amounts of water to dilute. Get medical attention.
<b>Skin Contact:</b>	Flush skin with large amounts of water. If irritation persists, get medical attention. Remove contaminated clothing and laundry before reuse.
<b>Eye Contact:</b>	Rinse thoroughly with plenty of water for at least 15 minutes and consult a physician.
5. FIRE FIGHTING MEASURES	
<b>Flash Point, °C:</b>	Nonflammable
<b>Autoignition Temperature, °C:</b>	Not Applicable
<b>Lower Explosive Limit, %:</b>	Not Applicable
<b>Upper Explosive Limit, %:</b>	Not Applicable
<b>Extinguishing Media:</b>	None - does not burn. Use extinguishing media appropriate for surrounding fire.
<b>Fire Fighting Procedures:</b>	None required; however, when fighting chemical fires, self-contained breathing apparatus and protective clothing is recommended.
<b>Unusual Fire and Explosion Hazards:</b>	Not a fire or explosion hazard.

#### 6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

**Spill Procedures:** Scoop up or vacuum into a container for reclamation or disposal. Avoid dusting.

#### 7. HANDLING AND STORAGE

- Store in a cool, dry location away from incompatible materials.
- Material may be slippery when wet.
- Minimize dust generation and exposure.
- Avoid contact with eyes, skin and clothing.
- Wash thoroughly after handling.
- Use with adequate ventilation.

#### 8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

Ingredient CAS Number	Weight in Percent (%)	OSHA PEL	ACGIH TLV
Rare Earth Oxide	0-9	None Established	None Established
Calcium Oxide 1305-78-8	0-5	5 mg/m <sup>3</sup>	2 mg/m <sup>3</sup>
Magnesium Oxide 1309-48-4	0-9	15 mg/m <sup>3</sup> (Total particulate)	10 mg/m <sup>3</sup> (Inhalable fraction)
Phosphorus Compound	0-4	None Established	None Established
Kaolin 1332-58-7	20-80	15 mg/m <sup>3</sup> (Total dust) 5 mg/m <sup>3</sup> (Respirable fraction)	2 mg/m <sup>3</sup> (Respirable fraction)
Silica 7631-86-9	0-25	20 mppcf or 80 mg/m <sup>3</sup> ÷ %SiO <sub>2</sub>	10 mg/m <sup>3</sup> (Inhalable fraction) 3 mg/m <sup>3</sup> (Respirable fraction)
Aluminum Oxide 1344-28-1	0-25	15 mg/m <sup>3</sup> (Total dust) 5 mg/m <sup>3</sup> (Respirable dust)	10 mg/m <sup>3</sup>

Unless otherwise noted, all values are reported as 8-hour Time-Weighted Averages (TWAs) and total dust (particulates only). All ACGIH TLVs refer to the 2006 standards. Unless otherwise noted, all OSHA PELs refer to 29 CFR Part 1910 Air Contaminants: Final Rule, June 30, 1993.

**PEL TLV Notes:** Toxicology testing has indicated that an exposure limit of 5 mg/m<sup>3</sup> (time weighted average) for respirable particles would be appropriate for this material.

**Personal Protective Equipment:** Safety glasses with side shields. Wear suitable gloves.

**Respiratory Protection:** Use approved respiratory protection if exposure limits are exceeded, or overexposure is likely. If respiratory protection is used, follow all requirements for respiratory programs set forth in OSHA regulations (29 CFR 1910.134).

**Ventilation:** General ventilation. Local exhaust ventilation is recommended to control exposures to within applicable limits.

### 9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Form: Powder  
 Color: White  
 Odor: Odorless  
 Bulk Density: 0.6-1.1g/cc  
 Solubility (in water): Insoluble

### 10. STABILITY AND REACTIVITY

Stability Data: Stable  
 Conditions/Hazards to Avoid: Temperatures above 250 °C.  
 Incompatibility (Materials to Avoid): Strong acids. Strong oxidizing agents.  
 Hazardous Decomposition Products: Ammonia. Nitrates.  
 Polymerization: None anticipated.

### 11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

**Information on Product:**

**Acute Toxicity - Inhalation:** Whole-body inhalation toxicity studies in young adult Sprague-Dawley rats have indicated that the 4-hour LC50 for this material is greater than 5 mg/l.

**Information on Components:**

Ingredient CAS Number	Weight in Percent (%)	Acute Toxicity - Oral	Acute Toxicity - Inhalation	Acute Toxicity - Dermal	Acute Toxicity - Other
Rare Earth Oxide	0-9	> 9,968 mg/kg (rat)	Not Available	Not Available	Not Available
Calcium Oxide 1305-78-8	0-5	Not Available	Not Available	Not Available	Not Available
Magnesium Oxide 1309-48-4	0-9	Not Available	Not Available	Not Available	Not Available
Phosphorus Compound	0-4	> 5 g/kg (mouse)	Not Available	Not Available	Not Available
Kaolin 1332-58-7	20-80	> 5,000 mg/kg (rat)	Not Available	Not Available	Not Available
Silica 7631-86-9	0-25	3,160 mg/kg (rat)	Not Available	Not Available	Not Available
Aluminum Oxide 1344-28-1	0-25	Not Available	Not Available	Not Available	Not Available

**12. ECOLOGICAL INFORMATION****Information on Product:**

Environmental Fate:	No data available.
Mobility:	Not relevant. Insoluble in water.
Ecotoxicological Information:	No data available.

**13. DISPOSAL CONSIDERATIONS**

**US EPA Waste Number:** Not Regulated

**Disposal of Waste Method:** This product, if disposed as received, is a non-hazardous waste. Spent material may be contaminated and may require special disposal methods. Local disposal laws and regulations will determine the proper waste disposal/recycling/reclamation procedure. Disposal requirements are dependent on the hazard classification and will vary by location and the type of disposal selected.

**14. TRANSPORT INFORMATION****International Transport Regulations:**

ICAO Class: Not Regulated

IMO Class: Not Regulated

**US Transportation Regulations:**

DOT Classification: Not Regulated

**Canadian Transportation of Dangerous Goods (TDG):**

TDG Classification: Not Regulated

15. REGULATORY INFORMATION		
<b>International Inventories:</b>		
United States:	This product or its ingredients are listed on or compliant with the TSCA Inventory.	
Canada:	This product or its ingredients are listed on or compliant with the DSL.	
Europe:	This product or its ingredients are listed on or compliant with EINECS.	
Japan:	Not Determined	
Australia:	This product or its ingredients are listed on or compliant with AICS.	
Korea:	This product or its ingredients are listed on or compliant with the ECL.	
Philippines:	This product or its ingredients are listed on or compliant with PICCS.	
China:	Not Determined	
<b>US Federal Regulations:</b>		
<b>Ingredient CAS Number</b>	<b>Weight in Percent (%)</b>	<b>Subject to SARA 313 Reporting</b>
Rare Earth Oxide	0-9	No
Calcium Oxide 1305-78-8	0-5	No
Magnesium Oxide 1309-48-4	0-9	No
Phosphorus Compound	0-4	No
Kaolin 1332-58-7	20-80	No
Silica 7631-86-9	0-25	No
Aluminum Oxide 1344-28-1	0-25	No
<b>SARA 311/ 312 Hazard Categories:</b> Acute Health Hazard                      Chronic Health Hazard		
<b>CAA 602 Ozone Depleting Substances (ODS):</b> This product neither contains nor is manufactured with an ozone depleting substance subject to the labeling requirements of the Clean Air Act Amendments 1990 and 40 CFR Part 82.		
<b>US State Regulations:</b>		
VOC Content (CARB):	Not Determined	
<b>Canadian Regulations:</b>		
<b>WHMIS Classification:</b> Class D Division 2 Subdivision B This product has been classified in accordance with the hazard criteria of the <i>Controlled Products Regulations</i> and the MSDS contains all the information required by the <i>Controlled Products Regulations</i> .		

Fuente: Ingeniería de Procesos. Refinería El Palito. (2014).

**Anexo C. Cantidades inventariadas de catalizador gastado de FCC (550 Ton) almacenadas en Refinería El Palito.**



Fuente: El Autor (2013).

**Anexo D. Muestra de catalizador gastado de FCC (envase de vidrio de 800 gr.).**



Fuente: El Autor (2013).

### Anexo E. Preparación y vaciado de las mezclas para morteros.



Fuente: El Autor (2014).

**Anexo F. Probetas cúbicas elaboradas para análisis de resistencia a la compresión.**

18 probetas cúbicas de mezcla de mortero tradicional



18 probetas cúbicas de mezcla de mortero con adición de catalizador gastado de FCC al 50% de sustitución del cemento.



18 probetas cúbicas de mezcla de mortero con adición de catalizador gastado de FCC al 15% de sustitución del cemento.

Fuente: El Autor (2014).

**Anexo G. Moldes elaborados para análisis de adherencia a la tracción.**

6 moldes de mezcla de mortero tradicional y 6 moldes de mezcla de mortero con adición de 15% de catalizador en sustitución del cemento.



6 moldes de mezcla de mortero con adición de 50% de catalizador en sustitución del cemento.

Fuente: El Autor (2014).

**Anexo H. Materiales y equipos de laboratorio de la Universidad de Carabobo utilizados en la preparación de las mezclas para morteros y análisis de resistencia a la compresión y adherencia a la tracción.**



Fuente: El Autor (2014).

Anexo I. Adición de catalizador gastado de FCC en mezcla para morteros de revestimiento para paredes.



Fuente: El Autor (2014)

**Anexo J. Paredes sujetas a revestimiento, con las tres mezclas de morteros analizados en la investigación.**



Fuente: El Autor (2014)

**Anexo K. Paredes revestidas, provenientes de las tres mezclas de morteros analizados en la investigación.**



Fuente: El Autor (2014)

Anexo L. Ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días en morteros.



*Rotura de las probeta*

*Certificado de calibración del equipo*

<b>CALIBRACION</b> TECNOCONCRET, C.A. Tels.: 237.6411 - EXT. 129 o 106 Fax: 237.6411 Ext. 106	DIVISION EQUIPOS DE LABORATORIO
	Marca: FORNEY
	Modelo: F-25EX-TPILOT
	Serial: 10095
	Certif. Calibración N°: 130923-06/1
	Fecha Calibración: 18-sep-13
	Próxima Calibración: 18-sep-14 Calibrado por: <i>[Signature]</i>

### Anexo M. Ensayos de adherencia a la tracción a los 28 días en morteros



*Equipo para determinación de adherencia DYNA Z16 PROCEQ.*



*Fijación con pegamento de los suplementos sobre las probetas a ser sometidas por despegue por tracción.*



*Horno de calentamiento para el despegue del gel fijador colocado sobre los suplementos luego de realizado el ensayo de adherencia.*