

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DE LAS OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE  
CATALIZADOR SOBRE EL AMBIENTE DE TRABAJO Y  
CONDICIONES LABORALES EN UNA PLANTA DE CRAQUEO  
CATALÍTICO FLUIDIZADO**

**REALIZADO POR:  
MERZOILY GAMBOA ALBINO**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

**BARCELONA, OCTUBRE DE 2009**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DE LAS OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE  
CATALIZADOR SOBRE EL AMBIENTE DE TRABAJO Y  
CONDICIONES LABORALES EN UNA PLANTA DE CRAQUEO  
CATALÍTICO FLUIDIZADO**

**ASESORES:**

---

**Ing. Quím. Osvaldo Ochoa**  
(Asesor académico)

---

**Ing. Quím. Robert Rodríguez**  
(Asesor industrial)

**BARCELONA, OCTUBRE DE 2009**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DE LAS OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE  
CATALIZADOR SOBRE EL AMBIENTE DE TRABAJO Y  
CONDICIONES LABORALES EN UNA PLANTA DE CRAQUEO  
CATALÍTICO FLUIDIZADO**

**JURADO:**

\_\_\_\_\_  
**Ing. Quím. Maritza Millán Silva, Msc**  
**(Jurado principal)**

\_\_\_\_\_  
**Ing. Quím. Yaneis Obando, Msc**  
**(Jurado principal)**

\_\_\_\_\_  
**Ing. Quím. Osvaldo Ochoa**  
**(Asesor académico)**

**BARCELONA, OCTUBRE DE 2009**

## **RESOLUCIÓN**

De acuerdo al Artículo 44 del reglamento de trabajos de grado de la Universidad de Oriente:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual lo participará al Consejo Universitario”.

## **DEDICATORIA**

A Dios Todopoderoso  
A mis padres y abuelos  
A mis hermanos, tíos y primos  
A mi novio Saúl  
A mis amigos

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios todopoderoso, por estar siempre a mi lado, por cuidarme en todo momento y por llenarme de sabiduría, de fuerza y mucha paciencia. Me llevaste siempre sobre tus hombros, eres mi luz y mi camino.

A mis padres: Zoilo y Mercedes, que con su sacrificio y esfuerzo me brindaron la posibilidad de formarme académicamente y cumplir mis metas, para así lograr hacer de mí lo que soy hoy en día, esto es gracias a ustedes. Gracias por todo.

A mis hermanos Zoilo, José y mi sobrina Zoileth, a mi abuela y a todos mis tíos, tías, primos, primas, que forman parte de mi gran familia y que siempre están allí en el momento justo y necesario como una familia unida.

A Saúl, por su amor, apoyo, colaboración y por estar en las buenas y malas a mi lado, acompañándome y compartiendo muchos momentos bonitos de mi vida. Gracias rey ☺.

A la Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui, institución donde realice mi formación académica, en especial al departamento de Ingeniería Química.

A PDVSA por permitirme realizar mis pasantías de grado en sus instalaciones y brindarme las herramientas necesarias, específicamente a la Superintendencia Ambiente e Higiene Ocupacional.

A mis asesores, Osvaldo Ochoa (asesor académico) y Robert Rodríguez (asesor industrial) quienes me impartieron gran parte de sus conocimientos y colaboraron de gran manera en la culminación de mi trabajo de grado.

A todos los profesores del departamento de Ingeniería Química. Gracias por compartir y llenarme de conocimientos a lo largo de mi formación académica.

A todos mis buenos amigos y compañeros. Gracias a todos por tantos momentos de compañerismo y amistad compartidos a lo largo de todo este tiempo.

***MUCHAS GRACIAS A TODOS!!!***

***Merzoily Gamboa A.***

# CONTENIDO

<b>PORTADA</b> .....	<b>i</b>
<b>PÁGINA ASESORES</b> .....	<b>ii</b>
<b>PÁGINA JURADO</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESOLUCIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>vii</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>x</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>viii</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Reseña histórica de la empresa .....	<b>1</b>
1.2 Descripción de la empresa .....	<b>1</b>
1.3 Ubicación de la refinería Puerto La Cruz .....	<b>3</b>
1.4 Planteamiento del problema.....	<b>3</b>
1.6. Objetivos .....	<b>4</b>
1.6.1. Objetivo general.....	<b>4</b>
1.6.2. Objetivos específicos .....	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
2.1. Antecedentes del proyecto .....	<b>5</b>
2.2. Polvo .....	<b>6</b>
2.2.1 Tipos de polvo .....	<b>6</b>
2.2.2 Tamaño de las partículas.....	<b>6</b>
2.2.3. Efectos nocivos del polvo: efectos respiratorios.....	<b>6</b>
2.2.4. Efectos generales: .....	<b>6</b>
2.2.5. Mecanismos para la recolección de polvo .....	<b>6</b>
2.2.6. Métodos de determinación de cantidad de polvo respirable y total.....	<b>7</b>
➤ Toma de muestras por concentración del contaminante sobre un soporte. ....	<b>7</b>
➤ Toma de muestras con filtros.....	<b>7</b>
➤ Accesorios o selectores de partículas.....	<b>8</b>
➤ Equipos muestreadores de aire o bombas .....	<b>8</b>
2.2.7. Equipos de recolección de polvo .....	<b>9</b>
2.2.7.1. Cámara de sedimentación por gravedad.....	<b>10</b>
2.2.7.2. Separadores de impacto o de choque.....	<b>10</b>
2.2.7.3. Separadores de ciclón o ciclónicos. ....	<b>10</b>
2.2.7.4. Separadores mecánicos centrífugos. ....	<b>11</b>
2.2.7.5. Lavador de partículas.....	<b>11</b>
2.2.7.6. Filtros de lecho granular. ....	<b>13</b>

2.2.7.7. Filtros de aire .....	13
2.2.7.8. Filtros de tela o filtros de manga .....	13
2.2.7.9. Depuradores en seco .....	15
2.2.7.10. Precipitadores eléctricos (electrostáticos).....	17
2.2.7.11. Campanas de extracción .....	17
2.3. Catálisis.....	19
2.3.1. Tipos de catálisis.....	19
2.3.2. Tipos de catalizador .....	19
2.3.3. Catálisis con sólidos.....	20
2.3.4. Catalizador empleado en la planta de craqueo catalítico fluidizado de la refinería de Puerto La Cruz.....	20
Características del catalizado.....	20
Características de los componentes .....	20
2.3.5. Craqueo catalítico fluidizado (FCC).....	22
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>26</b>
<b>DESARROLLO DEL PROYECTO.....</b>	<b>26</b>
3.1. Identificación de los equipos, procesos y procedimientos involucrados en las operaciones de transferencia de catalizador.....	26
3.1.1 Zona de reacción.....	26
✓ Convertidor o reactor ( <i>riser</i> ).....	26
✓ Desgasificador .....	26
✓ Regenerador .....	27
✓ Bajante .....	28
3.1.2. Sistema de almacenamiento de catalizador .....	28
3.2. Determinación de las áreas afectadas por emisiones de catalizador.....	29
3.3. Estimación del nivel de riesgo de exposición a polvos de catalizador en las instalaciones y puestos de trabajo en FCC.....	29
3.3.1. Estimación de la intensidad de exposición .....	30
3.3.2 ..... Nivel de exposición con respecto al cargo que desempeñan los empleados en FCC.....	30
3.3.3 .. Estimación de la severidad del efecto sobre la salud del catalizador en la planta FCC.....	31
3.3.4. Nivel de riesgo.....	32
3.4. Medición de las concentraciones de polvo total y respirable en el área de transferencia de catalizador en la planta FCC. ....	32
✓ Distribución de tiempo de muestreo por turnos de trabajo.....	32
✓ Cantidad de puntos de muestreo seleccionados.....	33
✓ Procedimiento para la toma de muestra.....	33
✓ Procedimiento para la determinación del caudal real, para polvos totales. ....	35
✓ Determinación de las concentraciones.....	37
✓ La exposición ponderada de los trabajadores .....	41
✓ Población establecida para el muestreo .....	42

✓ Procedimiento para la toma de muestra.....	42
✓ La exposición ponderada de los trabajadores .....	45
3.6. Proposición de las medidas de control necesarias para la reducción de las emisiones y/o la exposición de los trabajadores a polvos de catalizador, hasta valores de referencia aceptables dentro de los niveles técnicos de referencia de exposición (NTRE). .....	45
<b>CAPITULO IV</b> .....	47
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES</b> .....	47
4.1. Determinación de las áreas afectadas por emisiones de catalizador.....	47
4.2. Estimación el nivel de riesgo de exposición a polvos de catalizador en FCC.....	51
4.3. Medición de las concentraciones de polvo total y respirable en el área de transferencia de catalizador en la planta FCC .....	54
4.4 Determinación del personal que, de acuerdo a la norma COVENIN 2253, esta ocupacionalmente expuesto .....	56
4.5 Proposición de las medidas de control necesarias para la reducción de las emisiones y/o la exposición de los trabajadores a polvos de catalizador, hasta valores de referencia aceptables dentro de los Niveles Técnicos de Referencia de Exposición (NTRE) .....	57
4.6 Conclusiones .....	63
4.7 Recomendaciones .....	64
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	86
<b>ANEXOS</b> .....	86
<b>NORMAS Y FICHAS DE SEGURIDAD UTILIZADAS</b> .....	86
ANEXO A.1. Hoja de seguridad del catalizador de FCC, Endurance™.....	71
ANEXO A.2. Ficha de seguridad del Caolín.....	72
ANEXO A.3. Ficha de seguridad del oxido de magnesio. ....	73
ANEXO A.4. Ficha de seguridad del oxido de aluminio. ....	74
ANEXO A.5. Ficha de seguridad del oxido de calcio. ....	75
ANEXO A.6. Norma para la determinación de polvos totales NSHT 0500. ....	76
ANEXO A.7. Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas. Norma COVENIN 2253. ....	77
ANEXO A.8. Norma para la determinación de polvos respirables NSHT 0600. ....	79
ANEXO A.9. Descripción del nivel de riesgo y tipo de acción correspondiente. ....	80
ANEXO A.10. Diagrama de flujo de FCC. ....	81
<b>METADATOS para trabajos de grado, tesis y ascenso</b> .....	82

## INDICE DE TABLAS

TABLA 2.1. Resumen de los filtros y sus características .....	15
TABLA. 2.2. Propiedades de los principales materiales de tela para filtros de bolsa.....	16
TABLA 3.1 Categoría de exposición de acuerdo a los niveles de contacto con el catalizador. ....	30
TABLA 3.2 Categoría de exposición de acuerdo a los efectos sobre la salud.....	41
TABLA 3.3. Valores de mediciones de caudales iniciales y finales para muestreo ambiental.....	35
TABLA 3.4. Valores de caudal establecido para el muestreo y volumen calculado.....	37
TABLA 3.5. Pesos iniciales y finales de los filtros empleados para el muestreo ambiental. ....	38
TABLA 3.6 Pesos iniciales de los blancos empleados para el muestreo ambiental.....	38
TABLA 3.7. Pesos finales de los blancos empleados para el muestreo ambiental .....	40
TABLA 3.8. Valores de las concentraciones de polvo obtenidas en el muestreo ambiental. ....	40
TABLA 3.9. Valores de caudal establecido para el muestreo y volumen calculado.....	44
TABLA 3.10. Valores de las concentraciones de polvo obtenidas en el muestreo personal. ....	45
TABLA 4.1. Resultados obtenidos de la entrevista realizada a los empleados de FCC .....	51
TABLA 4.2. Valores máximos de concentración para polvo ambiental y personal .....	54
TABLA 4.3. Valores de concentración, que superan el valor lo establecido por la norma COVENIN 2253. ....	54
TABLA 4.4. Horario, tiempo y fecha durante la cual se desarrolló el muestreo. ....	54
TABLA 4.6. Valores máximos de concentración para polvo ambiental y personal .....	56
TABLA 4.7. Valores de concentración, que superan el valor lo establecido por la norma COVENIN 2253. ....	56
TABLA 4.8. Pérdidas de catalizador en el reactor .....	61

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. Dieta y productos de la refinería Puerto La Cruz. ....	2
FIGURA 1.2. Ubicación geográfica de la refinería Puerto La Cruz. ....	3
FIGURA 2.1. Cassette con soporte y filtro de teflón.....	8
FIGURA 2.2 Bombas de aspiración de alto caudal. ....	9
FIGURA 2.3. Separador de ciclón gas-sólido .....	11
FIGURA 2.4. Diseños de filtro de tela .....	14
FIGURA 2.5. Modelo de precipitador de placas.....	18
FIGURA 2.6. Sistema de precalentamiento en la operación de craqueo catalítico fluidizado de la Refinería de Puerto La Cruz.....	23
FIGURA 2.7. Diagrama representativo de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado.....	24
FIGURA 2.8. Ubicación de la planta de Craqueo Catalítico Fluidizado en la refinería Puerto La Cruz .....	25
FIGURA 3.1 Sistema de Conversión.....	27
FIGURA 3.3 Nivel de riesgo .....	32
FIGURA 3.5. Montaje del cassette para el muestreo personal y ambiental. ....	33
FIGURA 3.6. Equipo de recolección de polvo total.....	34
FIGURA 3.6 Montaje del equipo para muestreo personal. ....	44
FIGURA 4.1 Zonas donde hay presencia de emisiones visibles de polvos de catalizador en FCC.....	47
FIGURA 4.2 Silenciador del sistema de succión de catalizador a la tolva F-8.....	48
FIGURA 4.3. Recolector del sistema de succión de la tolva F-8 de FCCr. ....	49
FIGURA 4.4. Drenaje industrial donde se libera el catalizador proveniente del recolector de la tolva F-8. ....	49
FIGURA 4.5 Camión recolector de catalizador gastado, para ser retirado de la planta.....	50
FIGURA 4.6. Chimenea del convertidor de FCC.....	51
FIGURA 4.8. Efectos sobre la salud a causa del nivel de exposición de los trabajadores en FCC.....	52
Figura 4.9. Nivel de riesgo al que están expuestos los trabajadores de FCC .....	53
FIGURA 4.10. Dimensiones del ciclón. ....	62
FIGURA 4.11. Correlación para determinar la eficiencia de un ciclón .....	62

## **RESUMEN**

La “evaluación de las operaciones de transferencia de catalizador sobre el ambiente de trabajo y condiciones laborales en una planta de craqueo catalítico fluidizado”, se realizó, mediante una investigación de campo y documental que en primera instancia sirvió para la identificación de los equipos, procesos y procedimientos involucrados en las operaciones de transferencia de catalizador, que permitieron determinar las áreas afectadas por emisiones de polvo a través de la metodología empleada por las normas de higiene ocupacional de PDVSA, para estimar el nivel de riesgo de exposición, que resultó alto.

El objetivo de este trabajo es proponer medidas de control que disminuyan las emisiones y/o exposición de los trabajadores a polvos de catalizador, se realizó a través, de las mediciones de las concentraciones de polvos totales y respirables, apoyado en los métodos que dicta las normas NSHT 0500 y 0600, que determina el personal expuesto en el área de trabajo, con la finalidad de llevar los valores de concentración de emisiones directas al ambiente por debajo a los establecidos por el decreto ambiental 683 y las concentraciones personales y el ambiente de trabajo que se rigen por la norma COVENIN 2253.

Los valores de concentración obtenidas violan la norma COVENIN 2253, tanto ambientales como personales, los días en los que se realizó transferencia de catalizador fresco al regenerador y retiro de catalizador gastado. Por lo cual se determinó que las deficiencias en estos procesos hacen que ocurra este incremento en las concentraciones, ya que los días que no hubo transferencia de catalizador los niveles de concentración se encontraron dentro de los parámetros aceptados por la norma.

Las medidas propuestas a nivel de diseño para la reducción del riesgo a emisiones de polvo de catalizador es la aplicación de equipos recolectores de polvo, un ciclón a la salida de la chimenea de reactor, un filtro de tela a la salida del silenciador de la tolva F-8 y el cambio del sistema de vapor empleado para fluidizar el catalizador y poderlo trasladar de la tolva F-8A a la tolva F-8, por soplado de aire.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Reseña histórica de la empresa

**Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA)**, fue creada por decreto presidencial N°1.123 el 30 de agosto de 1975 para asumir las funciones de planificación, coordinación y supervisión de la industria petrolera nacional al concluir el proceso de restablecimiento de las concesiones de hidrocarburos a las compañías extranjeras que operaban en territorio venezolano.

Durante sus primeros años de operación, PDVSA inició sus acciones con 14 filiales (finalmente serían tres: Lagoven, Maraven y Corpoven) que absorbieron las actividades de las concesionarias que estaban en Venezuela. Dentro de esta fase, también inicia operaciones en 1976, el Instituto Tecnológico Venezolano del Petróleo (Intevep), destinado a efectuar los estudios e investigaciones necesarias para garantizar el alto nivel de los productos y procesos dentro de la industria petrolera. Igualmente, dos años más tarde se crea Pequiven Petroquímica de Venezuela S.A., dirigida a organizar el negocio de la producción petroquímica.

Luego de cinco años de puesta en marcha del decreto que creó a Petróleos de Venezuela, PDVSA y sus filiales logran avanzar en un proceso de consolidación en lo que respecta al manejo del negocio petrolero. Lagoven se encarga de las operaciones en el occidente al igual que Maraven y el sur del país; Corpoven despliega su área de influencia en el oriente de la nación.

A mediados de los años 80, la principal empresa del país inicia una expansión tanto en el ámbito nacional como mundial, con la compra y participación en diversas refinerías ubicadas en Europa, Estados Unidos y el Caribe. PDVSA logra ser considerada, gracias a su calidad y responsabilidad, como una empresa confiable.

### 1.2 Descripción de la empresa

La refinería Puerto La Cruz es uno de los centros de procesamiento de crudo más importantes de PDVSA e integra un circuito de manufactura del petróleo extraído en los campos de los estados Monagas y Anzoátegui. Constituida por tres unidades de destilación atmosférica: DA-1, DA-2, DA-3, una unidad de craqueo catalítico fluidizado (FCC), una unidad de alquilación, una unidad de tratamiento de gases, una unidad de hidrotratamiento de nafta (NHT), una unidad de hidrotratadora de diesel (HDT), una unidad de conversión catalítica (CCR), dos unidades de fraccionamiento de nafta. Además cuenta con unidades de tratamiento de amina y cáustica, despojadora de aguas agrias, de servicios industriales, plantas de aguas servidas, un terminal marino y un conjunto de tanques para el almacenamiento de crudo y producto.

El craqueo catalítico fluidizado (FCC), de la planta, es uno de los procesos fundamentales de producción, diseñado para convertir hidrocarburos de alto peso molecular (gasóleos) en gases olefinicos, gasolina de alto octanaje y combustible diesel.

El proceso se lleva a cabo en un convertidor que consta de cuatro unidades básicas: sistema de precalentamiento, reacción, regeneración, fraccionamiento y recuperación de gases. Actualmente la planta procesa aproximadamente 15.000 barriles diarios (15 MBD) de gasóleos, para producir oleofinas, gas combustible, nafta catalítica, aceite liviano, aceite pesado, aceite decantado y coque.

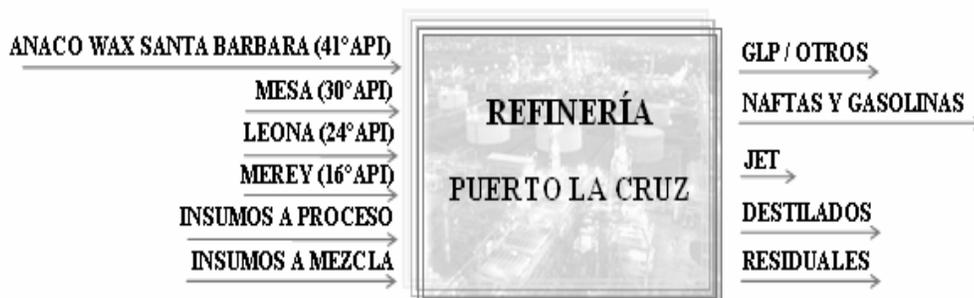
Geográficamente, esta planta abarca tres áreas operacionales: Puerto La Cruz, El Chaure y San Roque, ubicadas en el norte y centro del estado Anzoátegui, con una capacidad nominal para procesar 200 MBD de crudo en sus tres unidades de destilación, de los cuales 45% corresponde a crudo pesado que obtienen 73 mil barriles de gasolina y nafta, 12 mil barriles de kerosén-jet, 43 mil barriles de gasoil y 73 mil barriles de residual e insumos que son requeridos para la mezcla de combustibles comercializados en el mercado interno y de exportación.

Para la distribución de combustibles al circuito de estaciones de servicio de los estados Nueva Esparta, Sucre, Monagas, Delta Amacuro, Bolívar, Guárico y Anzoátegui, la refinería porteña cuenta con el Sistema de Suministro de Oriente (SISOR).

A continuación detalles de los procesos que realiza PDVSA:

- Exploración y Producción: es el primer eslabón de la cadena, el cual se ubica aguas arriba del negocio. De esta fase depende el hallazgo de hidrocarburos (gaseosos y no gaseosos) en el subsuelo.
- Refinación: proceso que se encarga de la transformación de los hidrocarburos en productos derivados.
- Comercialización: último eslabón de la cadena productiva. En esta etapa se establecen las fórmulas de precios que reflejan las variaciones del mercado para garantizar precios e ingresos justos para el pueblo venezolano.
- Gas: con unas reservas probadas por 147 billones de pies cúbicos, Venezuela es una de las potencias mundiales del sector de hidrocarburos gaseosos, que sirven de fuente energética para el país.

La dieta de la refinería es variada, entre los principales crudos se muestran en la figura 1.1 los siguientes:



**FIGURA 1.1.** Dieta y productos de la refinería Puerto La Cruz. [14]

### 1.3 Ubicación de la refinería Puerto La Cruz

La refinería Puerto la Cruz está ubicada en la costa nor-oriental del país, al este de la ciudad de Puerto La Cruz en el estado Anzoátegui; tiene facilidades de acceso desde el mar Caribe y está conectada por oleoductos con los campos de producción de Oriente. La conforman las instalaciones de Puerto La Cruz, El Chaure y San Roque (a 40 km de Anaco, vecina a la población de Santa Ana) estado Anzoátegui.



**FIGURA 1.2.** Ubicación geográfica de la refinería Puerto La Cruz. [14]

El objetivo principal de esta refinería es realizar procesos de separación física y transformación química que conviertan el crudo en derivados utilizables para numerosas aplicaciones.

### 1.4 Planteamiento del problema

La planta de craqueo catalítico fluidizado (FCC), de la refinería Puerto La Cruz, es uno de los procesos fundamentales de producción, diseñada para convertir hidrocarburos de alto peso molecular (gasóleos) en gases olefínicos, gasolina de alto octanaje y combustible diesel; en esta planta se han presentado inconvenientes por presencia de partículas de catalizador dispersas en la misma, proveniente de fugas o liberación inadecuada, que genera una atmósfera de polvos de catalizador en el ambiente incluyendo las zonas de trabajo.

El catalizador empleado en la planta llamado *Endurance*, en su estado fresco por sus propiedades físicas y químicas se considera una fuente de daños leves a la salud de los

trabajadores por cualquier vía de penetración o contacto en pequeñas concentraciones, debido a su composición de sílice, óxidos de aluminio, óxidos de calcio, óxidos de magnesio, tierras raras, compuestos de fósforos y caolín, siendo altamente nocivo cuando el catalizador se encuentra gastado o ha estado en reacción, porque mediante ese proceso ocurren cambios en su composición química por adicción de coque, producto, reactivo o cualquier metal en las tuberías. Lo que se quiere resaltar es que la permanencia de los empleados expuestos cierto tiempo a esa atmósfera de polvos, los convierte en un foco principal de investigación, por su conexión directa y frecuente.

Por poseer un tamaño de partícula mínimas de 0 a 20 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) el catalizador se considera un factor de riesgo, ya que partículas de polvo con diámetro menor a 5 micrómetros pueden penetrar hasta el alvéolo pulmonar, premisas que dan lugar a la necesidad de realizar un estudio que permita evaluar las operaciones de transferencia de catalizador sobre el ambiente de trabajo y condiciones laborales, para determinar mediante las zonas y personal afectados, propuestas que consigan preservar las condiciones de seguridad, bienestar y salud.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Evaluar las operaciones de transferencia de catalizador sobre el ambiente de trabajo y condiciones laborales en una planta de craqueo catalítico fluidizado (FCC).

### **1.6.2. Objetivos específicos**

1. Identificar los equipos, procesos y procedimientos involucrados en las operaciones de transferencia de catalizador.
2. Determinar las áreas afectadas por emisiones de polvo de catalizador.
3. Estimar el nivel de riesgo de exposición a polvos de catalizador en las instalaciones y puestos de trabajo en la planta FCC.
4. Medir las concentraciones de polvo total y respirable en el área de transferencia de catalizador en la planta FCC.
5. Determinar el personal ocupacionalmente expuesto, de acuerdo a las normas nacionales e internacionales.
6. Proponer las medidas de control necesarias para la reducción de las emisiones y/o la exposición de los trabajadores a polvos de catalizador, hasta valores de referencia aceptables dentro de los Niveles Técnicos de Referencia de Exposición (NTRE).

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del proyecto

En 1980, Paredes [1] realizó la “Evaluación de los efectos que causan las partículas de polvo a los trabajadores en zonas adyacentes a minas de caolín”. En éste se detallan los tipos de polvos, tamaño de partículas y los efectos nocivos de polvos a la salud, y en él se mencionan los efectos de las partículas de catalizador pulverizado y con el informe de Paredes se puede hacer una similitud de la sintomatología.

A diferencia del estudio realizado por Paredes que está referido a polvos minerales de caolín, el presente proyecto trata de polvos de catalizador que posee características químicas más nocivas, relacionándose en la caracterización de los polvos de acuerdo con su tamaño y como puede afectar este aspecto la salud de los empleados.

En 2001, Díaz, B. [2] presentó su tesis de grado “Evaluación del sistema de regeneración catalítica fluidizada, con respecto a la conversión obtenida”. Díaz realizó un análisis detallado del sistema de conversión catalítica, lo que lo asemeja al informe realizado actualmente, a diferencia que en el presente estudio se evalúan con la finalidad de detectar y disminuir las fallas en el sistema de craqueo catalítico o relacionado a él, mientras que Díaz lo realizó con base en la producción del sistema a nivel de la conversión

En 2008 Suárez, S. [3], realizó el “Diseño de un sistema móvil de extracción de polvo generado durante el proceso de arenado”. Este trabajo sirvió de guía para el presente informe en el análisis de mecanismos de recolección de polvo, a diferencia que Suárez trabajo con un proceso de arenado, que maneja diámetro de partículas mayor que el catalizador empleado en el proceso de craqueo catalítico en el actual proyecto.

En 2003 García, A. [4], estableció un sistema para la disminución de niveles de contaminación por emisiones atmosféricas, donde se determinó la concentración de partículas sólidas al igual que en la presente tesis y gases contaminantes de SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> y F, presentes en hornos de fundición, y en semejanza al presente estudio se realizaron propuestas de equipos para disminuir las emisiones.

En 2001 Lara, P. [5], presentó un trabajo para la reducción de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs), a diferencia del presente estudio que trata de partículas sólidas, pero en comparación se determinó las concentraciones de los contaminantes, pero a través de balance de masas y no por gravimetría como en la presente tesis.

En 2007 Buonaffina, I. [6], desarrolló un proyecto para la reducción de emisiones de gases (BTEX) que se producen durante el endulzamiento de gas natural y determinaron las concentraciones de los contaminantes a través del simulador HYSYS.

## 2.2 Polvo

Es la dispersión de partículas sólidas en el ambiente; cuando éstas son más largas que anchas, son fibras. El polvo es, generalmente, el resultado de la desintegración mecánica de la materia y se pueden redispersar a partir de la fracción sedimentada, o másica, mediante un chorro de aire. El polvo está compuesto por partículas mayores de  $1\mu\text{m}$  ( $\mu\text{m} = 1 \text{ micra} = 0,001\text{mm}$ ). [7]

### 2.2.1 Tipos de polvo

- *Polvo total (atmosférico o ambiental)*: partículas de materiales sólidos suspendidas en el aire capaces de depositarse en cualquier parte del tracto respiratorio.
- *Polvo respirable o inhalable*: partículas sólidas suspendidas en el aire, capaces de causar daño cuando se depositan en la región de intercambio gaseoso de los pulmones. [7]

### 2.2.2 Tamaño de las partículas

Las partículas más pequeñas son más peligrosas; permanecen más tiempo en el aire y penetran a los lugares más profundos de los bronquios. El tamaño de las partículas y la capacidad de penetración pulmonar es el siguiente:

- Mayor a 50 micras. No pueden inhalarse
- 10-50 micras. Retención en nariz y garganta
- Menor a 5 micras. Penetran hasta el alvéolo pulmonar. [8]

### 2.2.3. Efectos nocivos del polvo: efectos respiratorios

- Neumoconiosis: silicosis, asbestosis, siderosis, aluminosis, beriliosis, etc.
- Cáncer pulmonar: polvo conteniendo arsénico, cromatos, níquel, amianto, etc.
- Cáncer nasal: polvo de madera y polvo de cuero en industrias de calzado.
- Irritación respiratoria: bronquitis, neumonitis, enfisema pulmonar, etc.
- Alergia: asma profesional y alveolitis alérgica extrínseca
- Bisinosis: enfermedad pulmonar por polvos de algodón, lino o cáñamo.
- Infección respiratoria: polvos conteniendo hongos, virus o bacteria. [8]

### 2.2.4. Efectos generales:

- Intoxicación: el manganeso, plomo o cadmio pueden pasar a sangre una vez inhalados como partículas.
- Lesiones de piel: irritación cutánea y dermatosis.
- Conjuntivitis: contacto con ciertos polvos.
- Dificultad respiratoria. [8]

### 2.2.5. Mecanismos para la recolección de polvo

Las operaciones básicas para la retención de polvo por medio de cualquier dispositivo son: la separación de las partículas transportadas por la corriente gaseosa por deposición

sobre una superficie de recolección; la retención propiamente dicha, sobre la superficie, y la eliminación del depósito recolectado sobre la superficie para su posible recuperación o desecho. [9]

### 2.2.6. Métodos de determinación de cantidad de polvo respirable y total

El método consiste en hacer pasar a través de un filtro un caudal de aire establecido, utilizando para ello un equipo portátil. La concentración de partículas suspendidas en el ambiente de trabajo se calcula a partir del volumen de aire aspirado y la cantidad de polvo recolectado en el filtro, no es más que la toma de muestras por concentración del contaminante sobre un soporte. [7]

#### ➤ *Toma de muestras por concentración del contaminante sobre un soporte.*

La fijación y concentración de los contaminantes sobre soportes constituye la técnica mas ampliamente utilizada (muestra de campo), la transformación química y/o física de las muestras de campo en el laboratorio posibilita la aplicación de las técnicas analíticas (análisis).

El tipo de soporte debe ser concordante con el estado físico, naturaleza y comportamiento del contaminante a retener (muestras estables), así mismo debe ser compatible con la técnica analítica posterior. La calidad de los soportes dependerá de la capacidad de recolección de muestras del orden de microgramos (cantidades pequeñas pueden quedar enmascaradas).

Deben poseer una elevada eficacia de retención y en su posterior análisis deben ser fácilmente recuperables. Hay tres tipos: soluciones absorbentes, membranas o filtros sólidos adsorbentes, en ocasiones pueden ser combinados. [7]

#### ➤ *Toma de muestras con filtros:*

El sistema de captación sobre filtros se basa en hacer pasar un volumen de aire a través de un filtro montado en un portafiltro o cassette.

La retención de las partículas del contaminante se produce por fenómenos de tamizado, inercia, gravedad y fuerzas electrostáticas, sobre un soporte material o membrana porosa, denominado filtro.[7]

- **Filtro:** el tamaño de filtro normalmente empleado en la captación de muestras personales es PVC, fibra de vidrio, policarbonato, teflón, plata, etc.), y su tamaño de poro es aproximadamente de 37 mm de diámetro.
- **Soporte:** generalmente de celulosa, no es un soporte de captación, su utilización es básicamente para sostener y evitar que se arrugue el filtro. En la figura 2.1 se muestra un modelo de soporte para muestreo de polvo. [7]



**FIGURA 2.1.** Cassette con soporte y filtro de teflón. [7]

- **Portafiltros o cassette:** generalmente de poliestireno, puede estar constituido de dos o tres cuerpos o secciones, siendo opcional la elección, en general de mayor utilidad es el de tres cuerpos, dado que mejora la distribución del contaminante y evita colmataciones en el centro. [7]

➤ *Accesorios o selectores de partículas*

- **Ciclón:** selector de partículas para el muestreo de fracción respirable. Consiste en un dispositivo cilíndrico y alargado que posee una entrada de aire dispuesta tangencialmente en sentido transversal, así se permite la sedimentación de las partículas más gruesas en el fondo y la fijación de las finas en el filtro superior; deben ser independientes de la orientación.
- **Impactador en cascada:** dispositivo para seleccionar por tamaño de partícula y aplicar correctamente los valores PSS-TLV's.
- **Captador de partículas respirables:** de aplicación en minas. [7]

➤ *Equipos muestreadores de aire o bombas*

Los muestreadores personales de aspiración, son los instrumentos encargados de hacer pasar un determinado volumen de aire a través de los soportes de retención. En la figura 2.2 se muestran modelos de bombas de alto caudal. Deben poseer un sistema de control automático de flujo que permita regular instantáneamente las variaciones del caudal de aire aspirado producidas fundamentalmente por la saturación del soporte (precisión +/- 5%). Se caracterizan por:

- Reducido tamaño (1 kg)
- Deben poseer una autonomía de 8 horas.
- Un caudal variable entre 1 y 5.000 mililitros por minuto (0,02 - 0,5 l/min). Para caudal bajo y (0,5 - 4,5 l/min.) para caudal alto. Su elección vendrá marcada por el tipo de soporte y las necesidades del método analítico. [7]



**FIGURA 2.2** Bombas de aspiración de alto caudal. [7]

### 2.2.7. Equipos de recolección de polvo

**2.2.7.1. Cámara de sedimentación por gravedad:** es el equipo de recolección más sencillo y antiguo que se conoce consta de una cámara en la que la velocidad del gas se reduce considerablemente, permitiendo que el polvo se separe y sedimente por su peso. Su aplicación industrial está limitada para la separación de partículas con tamaño superior a las 325 mallas ( $43\mu\text{m}$ ). Las cámaras de sedimentación emplean la fuerza de la gravedad para separar las partículas más gruesas. El gas residual entra en una cámara en la que disminuye su velocidad pudiendo sedimentar las partículas más gruesas y densas en una tolva de recolección. Se usan usualmente como tratamiento previo a otros tratamientos para eliminar la fracción más gruesa del material en suspensión. Son utilizados para la captura de partículas de diámetro mayor de  $10\mu\text{m}$ , aunque sólo atrapan de manera efectiva a partículas de más de  $50\mu\text{m}$ .

Las ventajas de estos equipos radican en los bajos costos de mantenimiento (no tienen partes móviles) y de operación (pérdidas de presión mínimas), la baja velocidad del gas no produce abrasión y muy pocas limitaciones en temperatura de operación y carga residual del efluente. En contra, son equipos de un volumen considerable, no pueden manejar materiales pegajosos, y la baja eficiencia que presentan para partículas medianas y pequeñas.

El diseño de estos equipos es muy sencillo, se debe evaluar la velocidad de las partículas en su caída con respecto a la velocidad del gas, de manera que si las partículas tienen tiempo para sedimentar, es decir, recorrer la altura hasta la tolva de recolección, en la longitud de la cámara, entonces la partícula quedará atrapada. En caso contrario la partícula será arrastrada por la corriente gaseosa.

Para el desarrollo del modelo se admiten las siguientes simplificaciones:

- La velocidad es igual en cualquier punto de la cámara, tanto para el gas como para las partículas que arrastra, en su componente horizontal.

- La componente vertical de la velocidad de las partículas viene determinada por la velocidad terminal provocada por la gravedad y regida por la ley de Stokes.
- Cuando una partícula llega al fondo, en ningún caso es resuspendida.
- Las partículas no interactúan entre sí.
- La mezcla es perfecta en cada sección perpendicular al flujo, de manera que, la concentración no varía en una misma sección, pero a lo largo del sedimentador, según se van deponiendo las partículas, la concentración decrece.

De esta manera el dimensionamiento de una cámara de sedimentación depende del caudal de gas (a más caudal mayor sección para que la velocidad se encuentre entre 3 y 0,1 m/s) y de la eficiencia y el tamaño de partícula que queramos separar (una mayor longitud conseguirá las mayores eficiencias). Normalmente son usados como un pretratamiento para el enfriamiento del gas y la eliminación de las partículas más gruesas, no se usarán longitudes descomunales para mejorar la eficiencia con partículas pequeñas. [10]

**2.2.7.2. Separadores de impacto o de choque:** son una clase de separadores de inercia en los que las partículas se separan del gas por el choque sobre unos elementos o mamparas colocadas en la trayectoria de la corriente gaseosa. Un sistema de fibras es utilizado para la separación de partículas húmedas. [10]

**2.2.7.3. Separadores de ciclón o ciclónicos:** es el equipo de recolección más empleado, en el cual el gas cargado de polvo penetra tangencialmente a una cámara cilíndrica o cónica, en uno o más puntos y sale a través una abertura central. En virtud de la inercia, las partículas de polvo tienden a desplazarse hacia la pared exterior del separador, resbalando hasta llegar a una zona de almacenamiento. En la figura 2.3 se muestra este sistema. El ciclón es, esencialmente, una cámara de sedimentación en que la aceleración gravitacional es sustituida por la aceleración centrífuga. A las condiciones de operación utilizadas habitualmente, la fuerza o aceleración centrífuga de separación varía hasta cinco veces la gravedad.

Su limitación es que la eficiencia de recolección es muy baja para partículas inferiores a  $5\mu\text{m}$ , las cámaras de sedimentación o los separadores sencillos de inercia suelen dar mejores resultados y están sometidos a una menor abrasión.

En un ciclón la trayectoria del gas comprende un doble vórtice, en el que el gas dibuja una espiral descendente en el lado externo y ascendente en el lado interno. Cuando el gas penetra en el ciclón, su velocidad sufre una redistribución de tal modo que el componente tangencial de la velocidad aumenta al reducirse el radio.

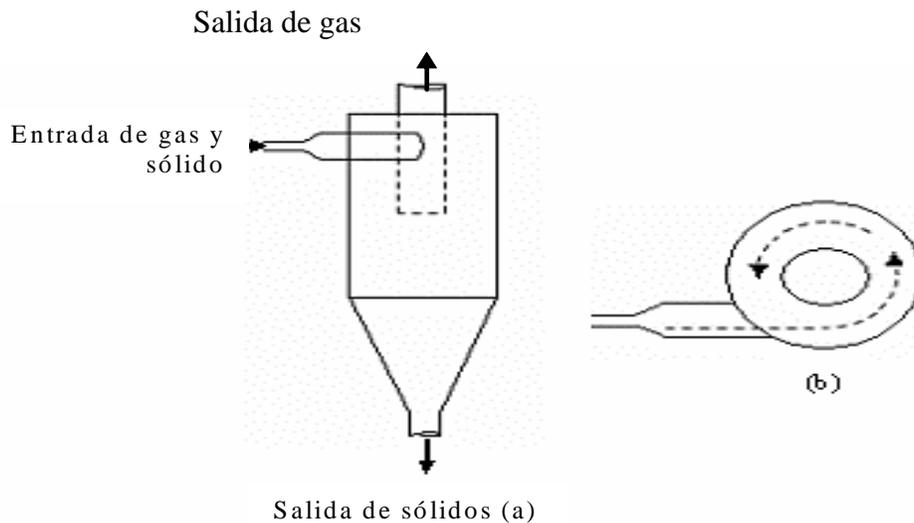
La velocidad espiral dentro de un ciclón puede alcanzar un valor varias veces superior al de velocidad promedio del gas de entrada.

El uso de los ciclones en serie está justificado en determinadas circunstancias:

- a. Cuando el polvo presenta una amplia distribución de diámetros, que incluyen partículas inferiores a 10 o 15  $\mu\text{m}$ , así como partículas de mayor tamaño y posiblemente abrasivas. Se puede utilizar un ciclón grande con baja velocidad para la eliminación de

las partículas gruesas, acoplado, en serie, con una unidad multitubular de diámetro inferior.

- b. Cuando el polvo está compuesto de partículas finas, pero está muy floculado o tiende a flocularse en un equipo, anterior o posterior, o en el interior de los ciclones.
- c. Cuando el polvo es relativamente uniforme y la eficiencia del ciclón de la segunda etapa no es inferior a la de la primera.
- d. Cuando la operación por etapas es crítica. Se pueden utilizar además como apoyo ciclones con segunda o incluso tercera etapa. [10]



**FIGURA 2.3.** Separador de ciclón gas-sólido: a) vista lateral, b) vista superior. [10]

**2.2.7.4. Separadores mecánicos centrífugos:** se basan en un campo centrífugo que se crea por medio de un elemento rotatorio. En una unidad típica el extractor o ventilador y recolector de polvo se combinan como una única entidad.

Las aspas tienen una forma especial para que dirijan el polvo separado hacia una ranura anular que desemboca en la tolva de recolección, mientras que el gas limpio va a la salida. [10]

**2.2.7.5. Lavador de partículas:** constituye un tipo de dispositivo en el que un líquido (habitualmente agua) se utiliza para provocar el arrastre y la retención de polvos o nieblas.

En los lavadores de partículas, el líquido se dispersa en la corriente de gas en forma de “spray” y las gotitas constituyen el núcleo recolector de las partículas de polvo. De acuerdo a las necesidades existen varios tipos de lavadores:

- a. Lavadores venturi: es uno de los más utilizados por su flexibilidad en el diseño y sencillez, pero no son los más eficientes. En los diseños actuales se utiliza por lo general el flujo vertical descendente de gas a través de la unidad de contacto e incorpora tres secciones: la primera es una zona de acceso húmeda o sección de entrada de pared

mojada para evitar la acumulación de polvo en la sección de paso húmeda-seca; la segunda consiste en una garganta o estrechamiento del venturi que permite el ajuste de la caída de presión y la tercera un codo inundado situado aguas abajo del venturi y antes de la zona del separador del arrastre, para reducir o evitar el desgaste provocado por la fricción de las partículas.

- b.** Depurador de rocío autoinducido: constituye una categoría especial de lavadores de gas en el que un tubo o ducto de alguna u otra forma configura la zona de contacto gas-líquido. La corriente de gas fluye a alta velocidad a través de esa zona de contacto, en la que se atomiza el líquido, que luego se recircula, por gravedad, desde la sección del separador de arrastre en vez de recircularse por medio de una bomba.
- c.** Torre de platos: es un lavador con un líquido pulverizado en contracorriente al gas a depurar en el que se utiliza uno o más platos para el contacto gas-líquido. El choque sobre estas placas o tabiques no es el mecanismo controlante de recolección de las partículas; los principales cuerpos de recolección son las gotas de líquido producidas por el paso del gas que fluye a través de las perforaciones y alrededor de las placas.
- d.** Lavador de relleno: este tipo de depurador es usado para la adsorción de gas y también se puede emplear para la recolección de polvos, pero están limitados por el posible taponamiento producido por los depósitos de sólidos insolubles. Los rellenos utilizados en los lavadores son demasiado grandes para servir como cuerpos recolectores, salvo para partículas muy grandes de polvo. En la recolección de partículas finas, los rellenos sirven básicamente para crear un flujo turbulento que ayuda a la retención de las partículas de polvo sobre las gotas. [11].
- e.** Lavadores de lecho móvil: se construyen con uno o más lechos de esferas de baja densidad que se pueden mover libremente entre las rejillas de retención, superior e inferior. Los flujos de gas y líquido son en contracorriente y los rellenos esféricos se fluidizan mediante el gas ascendente. El movimiento del relleno trata de minimizar su ensuciamiento y el taponamiento del lecho. Los rellenos de esferas suelen ser demasiado grandes para servir como núcleos para la deposición de partículas finas de polvo. [11].
- f.** Lavador tipo ciclón: los recipientes son de forma de ciclón permitiendo una separación del arrastre. Poseen inyectores dispuestos en las paredes del ciclón, con descarga hacia el interior, el contacto gas-líquido se realiza por medio de unas palas que permiten el giro y la energía la suministra la corriente de gas, en forma de caída de presión. Las paletas de giro tienen la misma función que las bandejas de una torre de platos. [11].
- g.** Lavadores con eyectores tipo venturi: en estos lavadores el chorro de agua procedente de una tobera de pulverización sirve tanto para depurar el gas como para proporcionar el tiro necesario para el movimiento del gas. No se requiere soplante, pero la potencia equivalente se debe suministrar con una bomba que proporcione agua a la tobera de expulsión. La mayor parte de la energía para el movimiento del gas, la atomización del líquido y la depuración del gas se obtiene con aire comprimido o vapor. [11].
- h.** Lavadores mecánicos: incluyen aquellos dispositivos en los que un rotor accionado por un motor provoca una fina pulverización y el contacto del gas y del líquido. [11].

- i. Lavadores con lecho de fibras: en tales unidades tiene lugar tanto el lavado, como la filtración. Si únicamente se va a recolectar nieblas, deberían utilizarse fibras pequeñas, pero si están presentes partículas sólidas, el uso de los lechos de fibras está limitado debido a la tendencia de los lechos a colmatarse.
- j. Lavadores potenciados eléctricamente: el objetivo es combinar en un lavador, por un lado, la alta eficiencia para la retención de partículas finas y, por el otro, el consumo moderado de potencia de un precipitador electrostático. [11].

**2.2.7.6. Filtros de lecho granular:** se pueden clasificar como filtros profundos, porque las partículas de polvos se depositan en el interior de los granulos del lecho.

Los granulos en sí representan núcleos para la deposición de partículas por inercia, difusión, intercepción de la línea de flujo, gravedad y atracción electrostática, dependiendo de las características del polvo, del filtro y las condiciones de operación. [11].

**2.2.7.7. Filtros de aire:** los filtros de aire incluyen una variedad de dispositivos de filtración diseñados para la recolección de partículas con concentraciones muy bajas. [11].

**2.2.7.8. Filtros de tela o filtros de manga:** son sistemas para recolección en los que el polvo es retirado de la corriente de gas al pasarlo a través de un tejido de cualquier tipo. Estos dispositivos son filtros de superficie, porque el polvo se recolecta en una capa sobre la superficie del medio filtrante y la capa de polvo en sí se convierte a su vez en un medio filtrante eficaz. En la figura 2.4 se muestran un filtro de bolsa

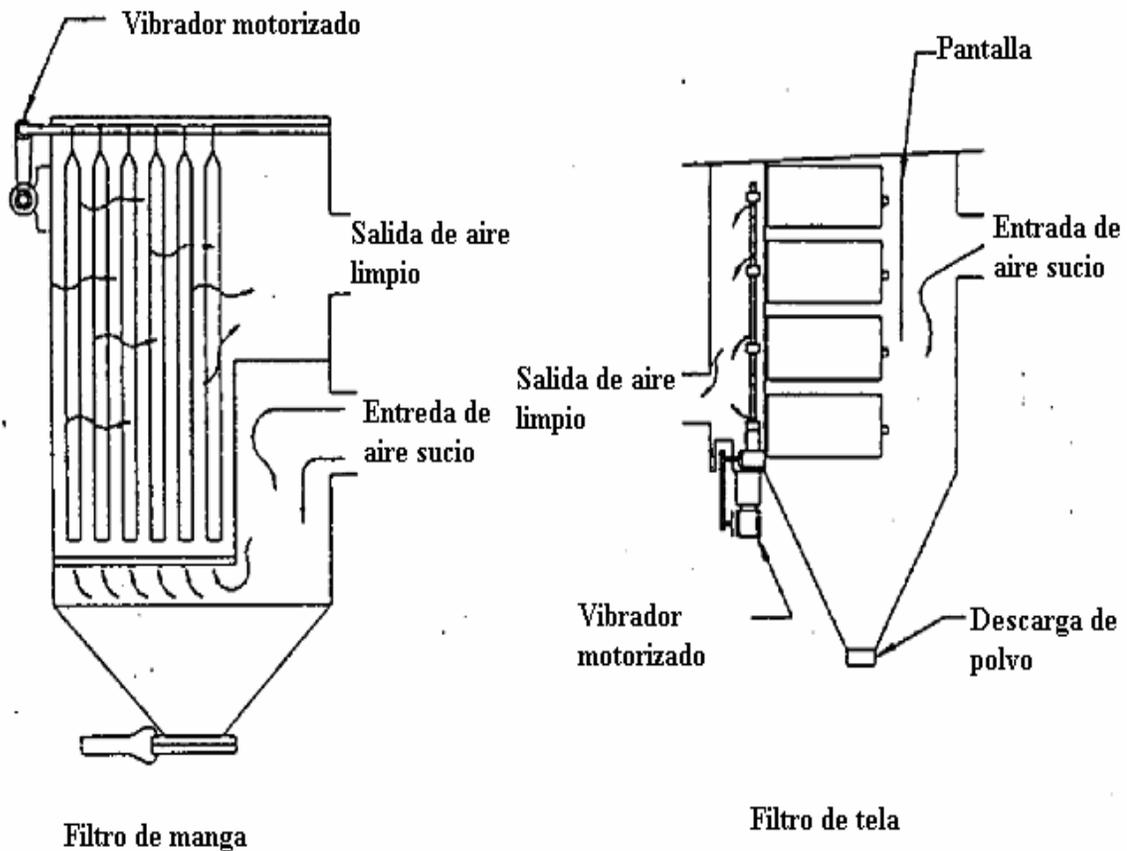
Durante el período inicial, la retención de las partículas se realiza mediante los mecanismos de deposición por inercia, intercepción de la línea de flujo, difusión y gravedad. Una vez que la capa de polvo se ha formado totalmente, probablemente es el tamizado o cribado el mecanismo fundamental de eliminación, la penetración suele ser extremadamente baja, excepto durante el ciclo de limpieza de la tela. Posee una elevada eficiencia para un amplio intervalo de diámetros de partículas.

La principal limitación la impone el límite de temperatura de las telas disponibles. Existen tres tipos de filtros de bolsas y dependen del método de limpieza utilizado:

- Limpieza por vibración: los extremos inferiores abiertos de las bolsas están sujetos, en las aberturas, a la placa de los tubos que separa la cámara inferior de entrada del gas a limpiar de la cámara superior del gas limpio. Los apoyos de las bolsas, de los que están suspendidas, se encuentran conectados a un mecanismo de vibración.

El gas sucio fluye hacia arriba y hacia el interior de las bolsas del filtro, y el polvo se recolecta sobre la superficie interna de las bolsas. Cuando la caída de presión alcanza un límite superior seleccionado, como resultado de la acumulación de polvo, el flujo de gas se detiene y el vibrador actúa proporcionando a las bolsas un movimiento circular de vaivén. El polvo desprendido cae dentro de la tolva, colocada debajo de la placa de los tubos. En la tabla 2.2. las propiedades de los principales materiales con que son elaboradas las bolsas y en la tabla 2.1 un resumen de los tipos de filtro.

- Limpieza por flujo inverso: son similares a los filtros con limpieza por vibración, excepto que se elimina este último dispositivo. Después que se ha detenido el flujo de gas sucio, se utiliza un ventilador para forzar el paso de gas limpio a través de las bolsas desde el lado limpio. Este flujo de gas comprime o aplasta parcialmente las bolsas y desprende el polvo retenido, que cae a la tolva de recolección.
- Limpieza por pulso invertido: la bolsa que constituye el filtro forma una manga que se extiende sobre un enrejado de alambre. El enrejado sirve de apoyo a la tela en el lado de gas limpio y el polvo se recolecta sobre la parte exterior de la bolsa. En la salida de gas limpio de la bolsa se localiza una tobera venturi. Durante la limpieza se hace pasar un chorro de aire a alta velocidad a través de un inyector hacia el interior de la bolsa, que induce a un flujo de gas limpio a entrar y a través de la tela hacia el lado sucio. [11].



**FIGURA 2.4.** Diseños de filtro de tela [12]

**TABLA 2.1.** Resumen de los filtros y sus características [12]

	<b>Operación discontinua, concentraciones bajas y medias</b>	<b>Operación discontinua concentraciones altas</b>	<b>Operación continua cualquier concentración</b>
<b>Requerimiento de limpieza</b>	Intermitente	Continuo	
<b>Tipo de limpieza</b>	Vibrador	Vibrador, aire inverso	Inverso pulsante, aire comprimido o ventilador
<b>Configuración del depurador</b>	Un compartimiento	Múltiples compartimiento con válvulas en la entrada o la salida de cada uno	Un compartimiento
<b>Configuración del medio filtrante</b>	Mangas o bolsas	Mangas o bolsas	Mangas o bolsas, plegado en caucho
<b>Tipo de tela</b>	Tejido	tejido	fieltro
<b>Caudal de aire</b>	Muy variable	Ligeramente variable	Prácticamente constante

**2.2.7.9. Depuradores en seco:** se basa en la separación, en la que la transferencia de masa ocurre entre la fase gas y una superficie activa similar a la de un líquido, y el resultado es la separación del gas y de un producto similar a un sólido que puede ser eliminado o reutilizado. Son muy usados para gases de incineradores integrando un sistema de secado mediante pulverización de soluciones de cal.

Con buenos absorbentes en seco, el control de la resistencia para la depuración de un gas es la difusión turbulenta externa, la cual también depende de la energía disipada por los mecanismos viscosos y de inercia [10]

**TABLA. 2.2.** Propiedades de los principales materiales de tela para filtros de bolsa. [12]

<b>Tela</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Resistencia al acido</b>	<b>Resistencia a las bases</b>	<b>Abrasión Flex</b>
Algodón	82	Deficiente	Muy buena	Muy buena
Creslan	121	Buena en ácidos minerales	Buena en base débil	Buena a muy buena
Dacron	135	Buena en la mayoría de los ácidos minerales, se disuelve parcialmente en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado	Buena en base débil, mediana en base fuerte	Muy buena
Dynel	71	Poco efecto aún en concentración alta	Poco efecto	Mediana a buena
Fiberglas	260	Mediana a buena	Mediana a buena	Mediana
Filtron	130	Buena a excelente	Buena	Muy buena
Nextel	760	Muy buena	Buena	Buena
Nomex	190	Mediana	Excelente a temperatura baja	Excelente
Nylon	93	Mediana	Excelente	Excelente
Orlon	126	Buena a excelente en ácidos minerales	Mediana a buena en bases débiles	Buena
P84	246	Buena	Buena	Buena
Polipropileno	93	Excelente	Excelente	Excelente
Ryton	190	Excelente	Excelente	Buena
Teflón	232	Inerte excepto al fluoro	Inerte excepto al trifluoruro, cloro y metales alcalinos	Mediana
Lana	93	Muy buena	Deficiente	Mediana
Fibra de vidrio	550	buena en concentraciones moderadas	Buena en concentraciones moderadas	Mediana

**2.2.7.10. Precipitadores eléctricos (electrostáticos):** cuando las partículas suspendidas en un gas se exponen a gas ionizado dentro de un campo electrostático, adquieren una carga y se desplazan bajo la acción del campo. Los mecanismos de funcionamiento de la precipitación eléctrica son, la ionización del gas y la recolección de las partículas. El precipitador electrostático es un dispositivo utilizado para la descontaminación del aire que utiliza las fuerzas eléctricas para la remoción de la fracción sólida de un efluente, dirigiendo las partículas hacia las placas del colector. Las partículas se cargan mediante el choque con iones gaseosos creados por la ionización del aire creado entre los electrodos, tras la carga; las partículas siguen las líneas de campo producidas por el alto voltaje hasta la superficie del electrodo colector. Las partículas deben ser eliminadas de las placas y recolectadas en una tolva, evitando que se reencaucen en la corriente gaseosa. Existen varios tipos de precipitadores:

-Precipitador de placa-alambre. Consta de placas paralelas y alambres entre las placas. Esta disposición permite muchas líneas de flujo operando en paralelo, y a su vez pueden ser muy altas, lo que permite a este tipo de precipitador tratar grandes volúmenes de flujo. Las placas son el electrodo colector, que deben ser golpeadas periódicamente para desprender el material recolectado. Hay que tener en cuenta la resistividad del material recolectado, ya que altas resistividades provocan la situación de corona invertida (se inyectan iones de polaridad contraria que disminuyen la eficiencia de recolección), si la resistividad es muy baja, las partículas se mantienen en la placa muy disgregadas, lo que provoca fenómenos de resuspensión, lo que también disminuye la eficiencia. En el cálculo de la resistividad del material influyen muchos factores como: naturaleza del gas y del material recolectado, temperatura, humedad, características de la superficie recolectora, etc.

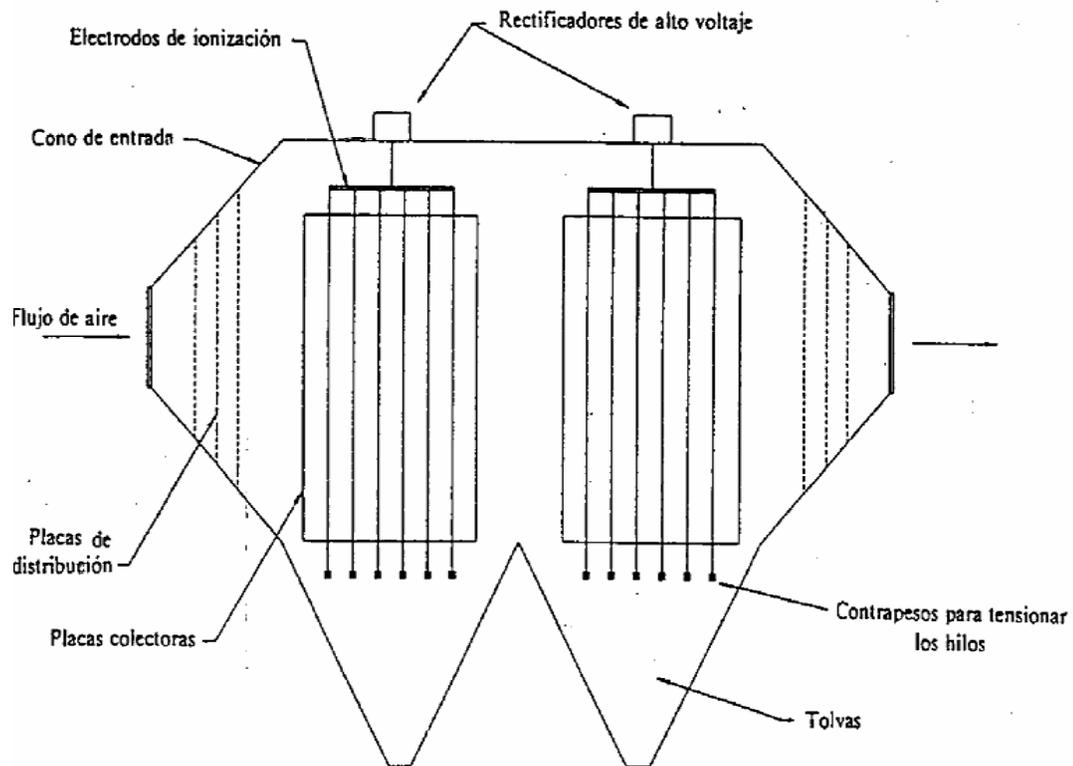
-Precipitador de placas planas. En este tipo de precipitadores electrostáticos, de menor tamaño, se sustituyen los alambres por placas planas para los electrodos de alto voltaje. Esto incrementa el campo eléctrico promedio usado para recolectar partículas y proporciona una mayor área superficial. Las coronas no pueden formarse entre placas planas, por lo que hay que incorporar electrodos adicionales a la entrada de las placas que generen las coronas. Los precipitadores de placas planas son menos susceptibles a la formación de corona invertida, siendo especialmente útiles para la recolección de material con gran resistividad. Además, son menos propensos a la formación de chispas, por lo que suelen ser de polaridad positiva, para minimizar la formación de ozono. Figura 2.5

-Precipitador tubular. Los precipitadores tubulares tienen forma de tubo, o tubos en paralelo con forma de panal, con el electrodo de alto voltaje en forma de alambres. Normalmente son lavados con agua, por lo que son más utilizados con particulados húmedos o pegajosos. [10].

**2.2.7.11. Campanas de extracción:** es un sistema de recolección de gases o aire contaminado dado que los contaminantes carecen de inercia, su movimiento está relacionado con el proceso mismo. [13]

Tipos de captación:

- Encerramiento: para que la captación sea efectiva se necesita un buen encerramiento de la fuente de contaminación con el fin de proporcionar volúmenes mínimos de aire a extraer y para evitar que haya escapes al ambiente de trabajo.
- Cabinas: es un sistema de protección idéntico al de encerramiento, pero con la diferencia de que no puede lograrse un cierre total de las paredes, generalmente poseen las paredes laterales y traseras y carecen de la frontal.
- Campanas externas: van colocadas externamente a la fuente emisora. Se utilizan cuando no es posible encerrar el proceso.
- Campana de captura lateral: para evitar que los trabajadores estén expuestos a un contaminante o cuando el espacio o el proceso lo exijan.
- Sistema de ranura para tanques abiertos: cuando se requiere una velocidad uniforme del aire en una superficie en una superficie relativamente grande. [13]



**FIGURA2.5.** Modelo de precipitador de placas [12]

### 2.3. Catálisis

Catalizador; es una sustancia que aumenta la velocidad de una reacción, interviniendo químicamente sobre las etapas intermedias de reacción y finalmente se libera en una forma químicamente inalterada. Sin embargo, a partir de un período de utilización, pueden tener lugar cambios irreversibles en el catalizador, provocando fenómenos de desactivación.

La relación de conversión, número de moléculas convertidas por molécula de catalizador, puede ser del orden de millones. Muchos catalizadores presentan especificidad, influyendo sólo en una reacción o en un grupo de reacciones definidas. [10]

#### 2.3.1. Tipos de catálisis

- ✓ **Catálisis homogénea:** la característica más significativa de la catálisis homogénea es que estos procesos son muy específicos y tienen lugar en condiciones relativamente suaves; en contraposición con la catálisis sólida, la cual es menos específica para una reacción y puede requerir condiciones extremas de temperatura y presión, sin embargo, uno de los problemas de los procesos homogéneos viene dado por la dificultad de separar el producto del catalizador. Los casos más numerosos de catálisis homogénea vienen dados por ciertos iones o compuestos de coordinación metálicos, en disolución acuosa y en bioquímica, donde las enzimas funcionan como catalizadores. Estos procesos son muy específicos y tienen lugar en condiciones relativamente suaves. [10]
- ✓ **Catálisis heterogénea, inmovilizada o soportada:** la especificidad de un catalizador homogéneo y la recuperabilidad de un catalizador sólido pueden conjugarse inmovilizando el catalizador homogéneo sobre un soporte sólido. Esta técnica se emplea frecuentemente para el caso de los catalizadores enzimáticos. Los catalizadores inmovilizados tienen aplicaciones en procesos de hidrogenación, hidroformilación y reacciones de polimerización. [10]
- ✓ **Catálisis con transferencia entre fases:** se emplea para reacciones con reactantes localizados en fases diferentes (típicamente para sistemas de líquidos orgánicos y acuosos), se provoca o acelera mediante un catalizador que migra de fase a fase y finalmente, la reacción suele tener lugar en la fase orgánica. Los catalizadores más ampliamente utilizados son sales cuaternarias de amonio o de fosfonio y éteres corona y criptatos. [10]

#### 2.3.2. Tipos de catalizador

- **Los ácidos fuertes:** pueden donar protones a un reactante y sufrir una transposición. A esta clase pertenecen los ácidos comunes, haluros de aluminio y trifluoruro de boro. [10]
- **Catalizadores básicos:** son muy eficaces con metales de álcali dispersados en un soporte sólido o en forma homogénea, como es el caso de los aldóxidos, amidas y similares. [10]
- **Los óxidos metálicos, sulfuros e hidruros:** se emplean en sistemas de hidrogenación/deshidrogenación, así como en la mayoría de las reacciones catalizadas

por ácidos, como el craqueo y la isomerización. Los más comunes son: óxidos de cobalto, hierro, zinc y cromo. [10]

- **Metales y aleaciones:** según la teoría, los electrones de las moléculas adsorbidas pueden rellenar las vacantes electrónicas en las capas incompletas y así hacer posible el enlace químico; metales como platino, paladio y níquel, tanto en forma de hidruros como de óxidos, son eficaces en proceso de hidrogenación (de aceites vegetales) y de oxidación (de amoníaco o dióxido de azufre). [10]
- **Los catalizadores organometálicos de metales de transición:** en disolución son eficaces para la hidrogenación; estos catalizadores se emplean para las reacciones del monóxido de carbono con oleofinas y oligomerizaciones. [10]

### 2.3.3. Catálisis con sólidos

Los catalizadores sólidos son ampliamente utilizados debido a que, son baratos. Estos catalizadores se emplean como pastillas porosas en un lecho fijo. Los componentes principales de los catalizadores sólidos son:

- Una sustancia catalíticamente activa o una mezcla de varias de ellas.
- Un soporte de superficie específica elevada, a menudo refractario, para resistir temperaturas altas. El soporte puede actuar como promotor.
- Promotores, normalmente presentes en pequeña cantidad que refuerza la actividad o retarda su degradación. [10]

### 2.3.4. Catalizador empleado en la planta de craqueo catalítico fluidizado de la refinería de Puerto La Cruz

El catalizador empleado en las operaciones de craqueo es llamado *Endurance*<sup>TM</sup> es un catalizador sólido, tipo ácido y soportado. En el anexo A.1 se muestran la hoja de seguridad del catalizador.

#### ✓ **Características del catalizador:**

- Polvo fino y poroso compuesto por óxidos de silicio y aluminio.
- Acelera las reacciones de craqueo
- Permite que las reacciones ocurran a menores temperaturas.
- Se obtiene mayor cantidad de productos valiosos.
- Diseñado con materiales resistentes a altas temperaturas, lo cual permite su regeneración (quema de coque en él contenido).

#### ✓ **Características de los componentes:**

Las bases principales de la composición del catalizador:

- Zeolita: componente catalítico primario para el craqueo selectivo. Específicamente la zeolita usada en el craqueo catalítico es la faujasita, que es un aluminosilicato tridimensional del grupo mineral de la zeolita, óxido de silicio y aluminio.
- Matriz activa: sirve principalmente para reducir los fondos en los productos de las unidades de FCC.

- Arcilla: proporciona al catalizador resistencia al sodio, ajustar el volumen de los poros y actúa como un medio transmisor de calor.

En otras palabras el catalizador está compuesto por:

**a. Caolín.** Anexo A.2

- Toxicidad aguda: nivel de dosis media (DL50) por vía oral mayor a 5000 mg/kg y DL50 cutánea (rata) > 5000 mg/kg
- Irritación ocular: puede causar irritación.
- Irritación cutánea: no irritante.
- Inhalación: el polvo puede irritar el sistema respiratorio.
- Ingestión: si se ingiere puede causar malestar estomacal. [14]

**b. Oxido de magnesio.** Anexo A.3

- Estado físico: aspecto polvo blanco, muy fino.
- Peligros físicos: absorbe humedad y dióxido de carbono, si se expone al aire.
- Peligros químicos: reacciona vigorosamente con halógenos y ácidos fuertes.
- Límites de exposición: TLV (Valor Límite Umbral), TWA (Media Ponderada en el Tiempo) 10 mg/m<sup>3</sup> (ACGIH Association Conference Government Industry Higiency 1990-1991). [14]
- Efectos de exposición: puede causar irritación en los ojos y la nariz.

**c. Oxido de aluminio.** Anexo A.4

- Estado físico: polvo blanco
- Peligros físicos, químicos y límites de exposición: TLV 10 mg/m<sup>3</sup> polvo total que no contenga amianto y <1% sílice cristalina
- Vías de exposición: la sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol.
- Efectos de exposición: la inhalación de altas concentraciones de polvo de ésta sustancia puede originar irritación de los ojos y tracto respiratorio superior. Puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire. [14]

**d. Oxido de calcio.** Anexo A.5

- Estado físico: Polvo blanco higroscópico.
- Peligros físicos y químicos: reacciona violentamente con ácidos fuertes, agua, trifluoruro de cloro o trifluoruro de boro
- Límites de exposición: TLV 2 mg/m<sup>3</sup> (ACGIH 1990-1991).
- Vías de exposición: se puede absorber por inhalación y por ingestión
- Riesgo de inhalación: la evaporación a 20 °C es despreciable, puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por dispersión.
- Efectos de exposición: a corta exposición la sustancia es corrosiva de los ojos, piel, tracto respiratorio e ingestión. A exposición prolongada o repetida, el puede producir dermatitis, ulceración entre otras afecciones. [14]

**e. Compuestos de fósforos**

- Propiedades físicas: polvo de color rojo-pardo

- Peligros físicos y químicos: fácilmente inflamable. Puede explosionar en mezcla con sustancias comburentes. Nocivo para los organismos acuáticos.
- Control límite de exposición: TLV-TWA: 0,02 ppm ó 0,1 mg/m<sup>3</sup>.
- Efectos peligrosos para la salud: por ingestión: náusea, vómito, diarrea. [14]

Definición de algunos términos empleados referente al catalizador:

**Catalizador fresco o nuevo:** es el catalizador que no ha sido utilizado en reacción y su superficie activa esta libre en su totalidad.

**Catalizador gastado:** es aquel que ha perdido actividad, es decir, no posee superficie activa disponible.

**Catalizador de equilibrio:** es una mezcla de catalizador fresco y catalizador gastado. [15]

### 2.3.5. Craqueo catalítico fluidizado (FCC)

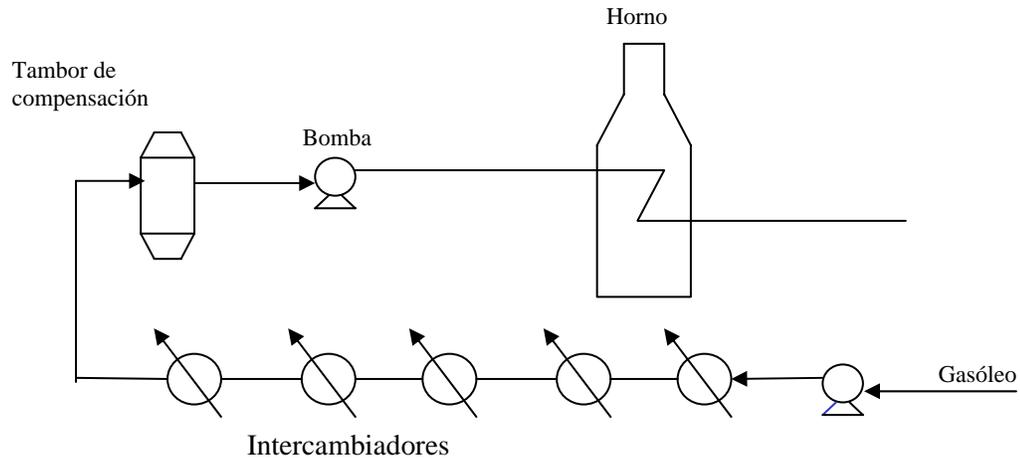
Éste es un proceso de conversión de hidrocarburos pesados presentes en los gasóleos, que permite producir gasolina y en consecuencia aumentar el rendimiento de este combustible en las refinerías, disminuyendo la producción de residuales.

El proceso FCC (Fluid Catalytic Cracking) se basa en la descomposición o rompimiento de moléculas de alto peso molecular. Esta reacción se promueve por un catalizador sólido pulverizado, que se incorpora a los hidrocarburos en un reactor de tipo tubular con flujo ascendente, esto ocurre luego del precalentamiento necesario para incorporar la temperatura requerida a la reacción. A la salida del reactor el producto es enviado al equipo de fraccionamiento para obtener los diferentes corte de hidrocarburos y dirigir la corriente gaseosa a recuperación de gases, mientras el catalizador se separa de los productos de reacción a través de ciclones para entrar en la etapa de regeneración, y el coque que se genera y adhiere al mismo por las altas temperaturas de reacción, se quema antes de recircularse al reactor; la energía liberada en el quemado sirve para dar parte del calentamiento de la corriente de carga. [15]

El proceso completo está dividido en:

- a. **Sistema de precalentamiento de carga al reactor:** consiste de una mezcla de gasóleos livianos y pesados proveniente de la unidad de destilación atmosférica, fluye a través del tren de intercambiadores a 420 °F, es un sistema empleado para que la mezcla pueda alcanzar la temperatura necesaria para que ocurra la reacción. En la figura 2.6 se muestra el sistema. [15].
- b. **Reacción:** en esta zona se atomiza la carga y se pone en contacto con el catalizador para que ocurra la reacción a una temperatura aproximada de 980-990 °F. El catalizador suministra el calor necesario. Luego la mezcla de los hidrocarburos productos del craqueo y catalizador son separados. [15]
- c. **Regeneración:** el catalizador que ha intervenido en la reacción pierde su actividad por efecto de relación hidrógeno /carbono o “coque” muy baja, los cuales bloquean los poros de las partículas y disminuyen el área necesaria para la reacción. [15]

La función principal del regenerador es la de quemar el coque depositado en el catalizador y recuperar su actividad, sin embargo la combustión del coque eleva la temperatura del catalizador y provee la energía necesaria para vaporizar la carga y para la reacción. Los gases de combustión son separados del catalizador en los ciclones del regenerador antes de ser enviados por la chimenea a la atmósfera. [15]



**Figura 2.6.** Sistema de precalentamiento en la operación de craqueo catalítico fluidizado de la Refinería de Puerto La Cruz. [15]

- d. **Fraccionamiento:** los productos vaporizados de la reacción son enviados a la fraccionadora de la cual se obtienen las siguientes corrientes:

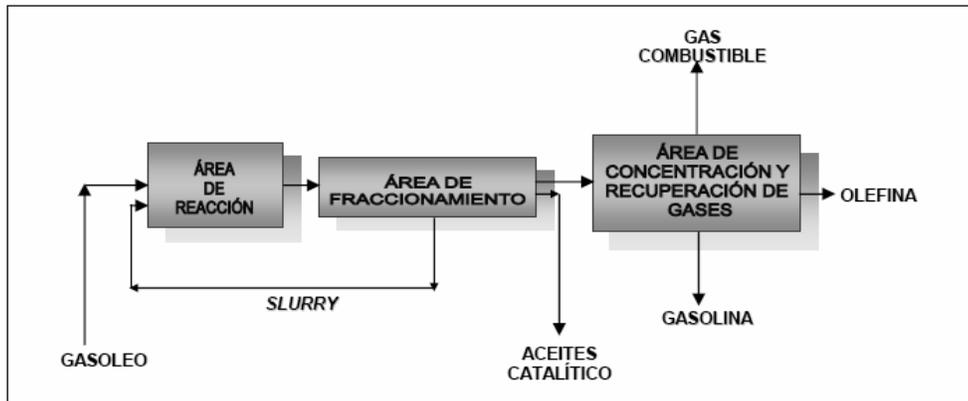
Vapores húmedos de tope, que son condensados parcialmente y enviados al tambor de baja presión, una parte de la fracción líquida se refluja a la fraccionadora y otra se utiliza como medio absorbente en la sección de recuperación de gases.

Las corrientes de retiro intermedias de la fraccionadora (aceite catalítico liviano, aceite catalítico pesado y aceite decantado) son enviadas a almacenaje después de ser enfriadas.

Adicionalmente se dispone de una corriente aceite lodoso (*Slurry*), que se recircula al reactor con el objetivo de devolver parte del catalizador que no pudo ser retenido por los ciclones del desgasificador, y controlar la temperatura del generador. [15]

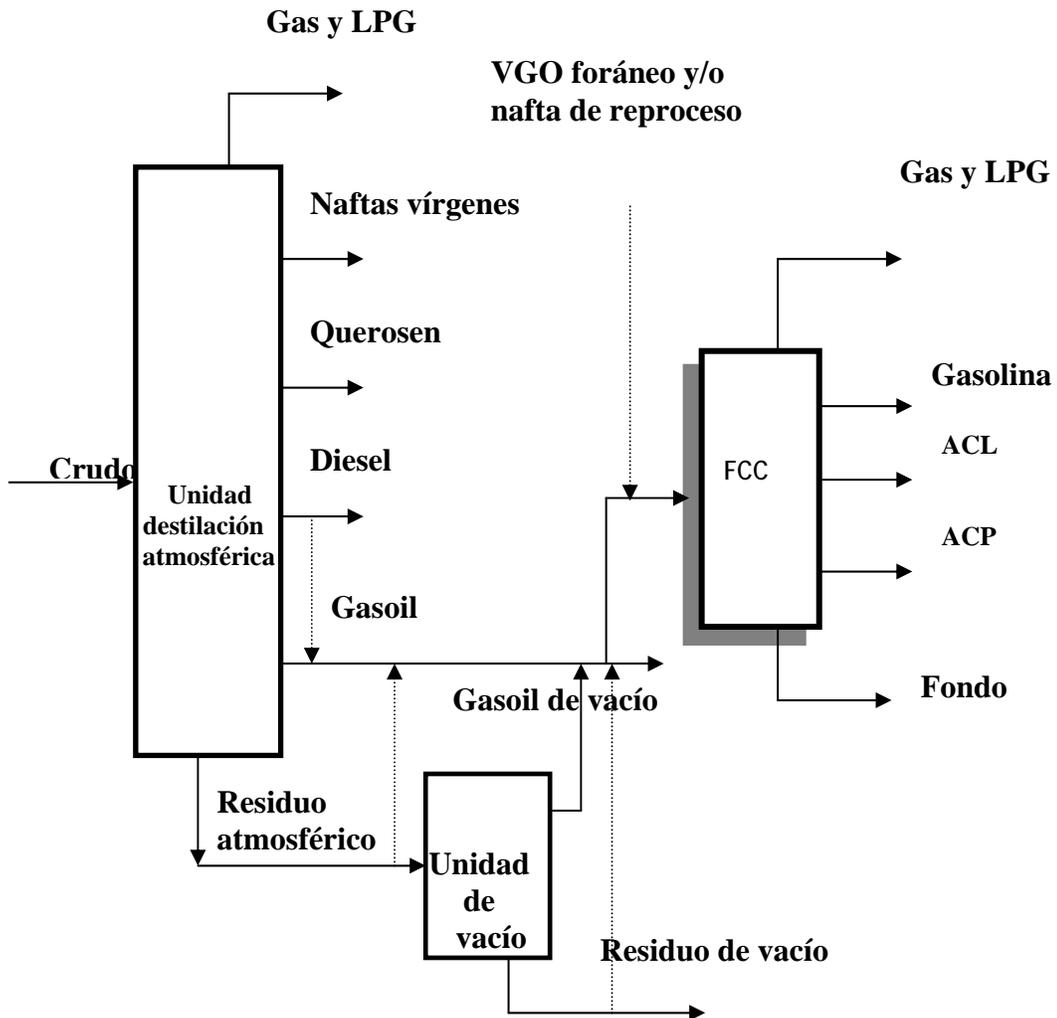
- f. **Recuperación de gases:** la corriente gaseosa proveniente de la fraccionadora es enviada al absorbedor donde la misma es puesta en contacto con dos corrientes de gasolina, los gases pobres se obtienen por el tope y son enviados al absorbedor en el cual son puestos en contacto con aceite catalítico liviano, donde se recupera aproximadamente el 85% de las fracciones de  $C_3^+$  de la corriente de gases. Por el tope del absorbedor se obtiene una corriente de gas seco. [15]

Las etapas del sistema de craqueo catalítico se representan en la figura 2.7.



**FIGURA 2.7.** Diagrama representativo de la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado. [15]

En el proceso se produce, además de gasolina, productos más ligeros como gas seco (metano y etano) y fracciones de 3 a 5 átomos de carbono, de carácter olefínico, que se utilizan como materia prima en la producción de ésteres y alquilatos en procesos subsecuentes de la refinería. También se genera un producto pesado rico en aromáticos, conocido como aceite cíclico liviano, que se procesa en las hidrotratadoras de la fracción diesel y otro denominado aceite decantado que se incorpora al gasóleo. En la figura 2.8 se presenta la ubicación de la planta de craqueo catalítico dentro de la refinería Puerto La Cruz. [15]



**FIGURA 2.8.** Ubicación de la planta de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) en la refinería Puerto La Cruz (PLC). [15]

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL PROYECTO**

#### **3.1. Identificación de los equipos, procesos y procedimientos involucrados en las operaciones de transferencia de catalizador**

Se desarrolló a través de revisiones y análisis de los sistemas de la planta FCC mostrados en el libro de la refinería y diagramas de flujo, así como visitas constantes al campo de trabajo de los operadores en la planta. A continuación se describen los procesos y equipos involucrados en la transferencia de catalizador.

##### **3.1.1 Zona de reacción**

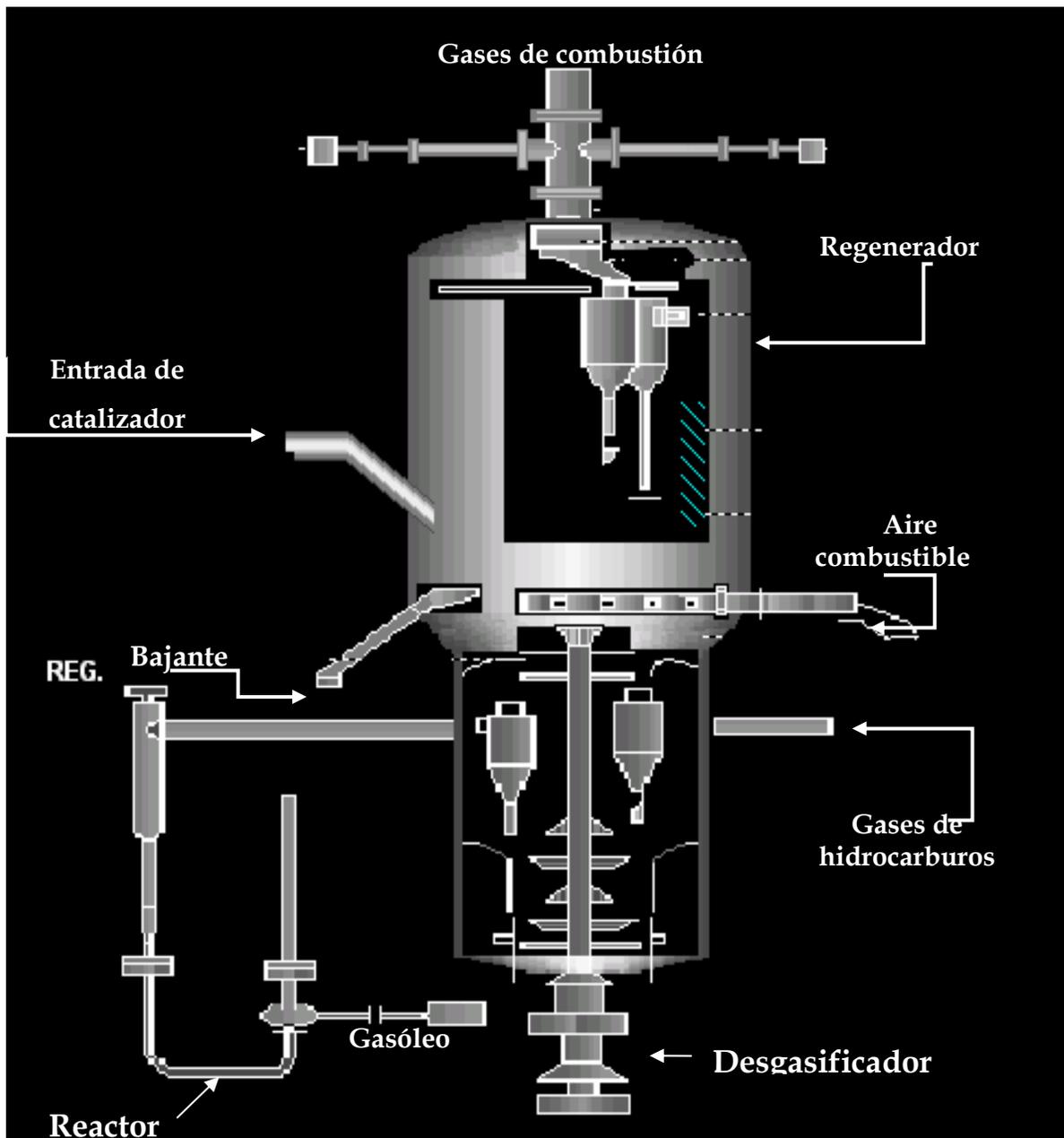
###### **✓ Convertidor o reactor (*riser*)**

La carga se atomiza con vapor de dispersión (190 psi) en seis boquillas igualmente espaciadas 60 grados alrededor de la circunferencia del riser. Un poco más arriba se encuentra una boquilla ranurada (slotted nozzle) que introduce el reciclo de slurry, la cual retorna los finos recuperados en el fondo de la fraccionadora. Las boquillas de carga están diseñadas para tratar un flujo de 15.000 barriles por día con 3% de vapor de dispersión. La carga atomizada se pone en contacto con el catalizador regenerado para así efectuarse la reacción en sus sitios activos a 990 °F; para lograr una distribución adecuada de la carga sobre el catalizador, la misma va a un anillo distribuidor y de allí a seis boquillas igualmente espaciadas, de esta forma dispersa, la carga entra a la zona colectora del tubo elevador, donde el catalizador regenerado caliente se pone en contacto con dicha carga y se vaporiza elevando su temperatura hasta la de reacción, de 980-990°F. El catalizador suministra el calor necesario. La mezcla catalizador-hidrocarburo asciende a través del *riser* hasta llegar al desgasificador.

En la figura 3.1 se muestra el convertidor de FCC el cual es un modelo Orthoflow B modificado con reactor externo diseñado por M.W Kellogg que consta de cuatro partes importantes.

###### **✓ Desgasificador**

La salida del reactor fluye directamente hacia los ciclones de dos etapas, donde se separan el catalizador y los vapores. El catalizador pasa a la parte baja de la sección para despojarse de los hidrocarburos atrapados con vapor de 190 psig, para posteriormente ascender por el tubo elevador mediante aire portador hacia el regenerador. El flujo de catalizador es regulado por una válvula de tapón (PV-2). Los vapores de agua e hidrocarburos despojados salen de los ciclones y pasan directamente a la fraccionadora E-1 a través de la línea 010.



**FIGURA 3.1** Sistema de Conversión. [15]

✓ **Regenerador**

Es la parte superior del convertidor en donde el catalizador coquizado se expone a un flujo de aire el cual quemará el coque depositado en sus sitios activos, convirtiéndolo en dióxido de carbono en su mayor parte; el calor de la reacción, por ser exotérmica, calienta el lecho del regenerador hasta unos 1.315 °F aproximadamente. El aire es introducido a través de un ducto dotado de una serie de ramificaciones que poseen boquillas de inyección con el fin de distribuirlo uniformemente en toda la superficie del catalizador para facilitar la quema del coque. Debido a la velocidad de inyección de aire, el catalizador por contener

gran cantidad de finos, se esparce por todo el volumen del regenerador, sin embargo esta sección contiene dos pares de ciclones abiertos de dos etapas, dos primarios y dos secundarios.

Los primarios recolectan el 99% del catalizador esparcido mientras que los secundarios recuperan el 1% restante retornándolo al lecho del regenerador para fluir nuevamente a la reacción.

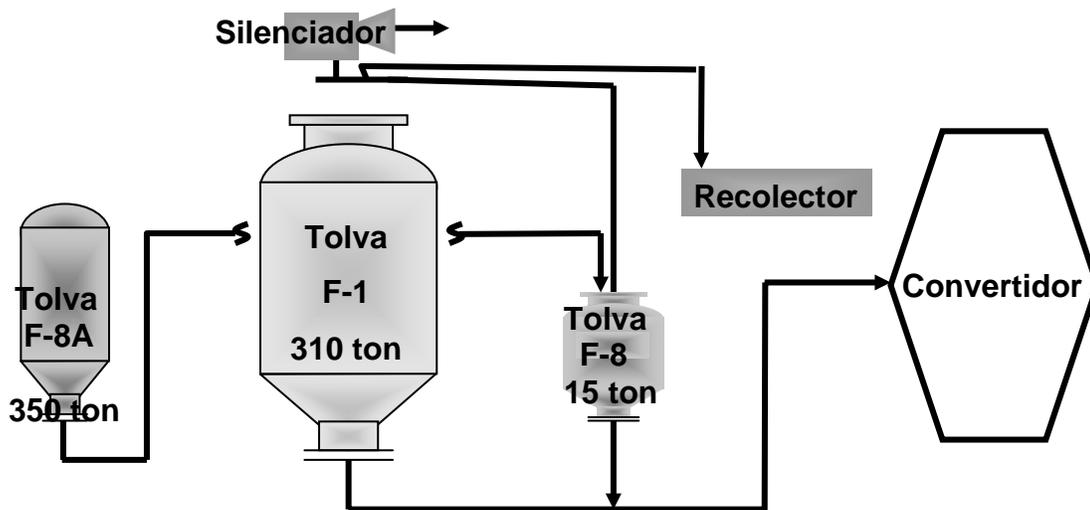
La presión en el regenerador es regulada por una válvula deslizante de doble disco (SLV-1) y está ubicada en la parte superior; a través de ella fluyen a la chimenea los gases de combustión producidos en la quema del coque del catalizador. En la parte superior de la SLV-1 se encuentra la chimenea en la cual están ubicadas una serie de boquillas y tres bandejas que se encargan de minimizar el ruido por el efluente de gases de combustión producidos en la quema del coque.

#### ✓ **Bajante**

El regenerador se comunica con el reactor mediante una línea denominada bajante (*stand pipe*) en donde el catalizador de la fase densa pasa a través de un embudo (*hopper*), y comienza a descender hasta llegar nuevamente al reactor a 1.230 °F aproximadamente. En la parte baja se encuentra otra válvula deslizante pero esta vez de un solo disco, conocida como SLV-2, la cual se encarga de regular la cantidad de catalizador con el fin de adecuar la temperatura de reacción en los valores típicos. Entre el embudo y la válvula SLV-2 se inyecta aire de servicio a través de 12 boquillas espaciadas a lo largo del bajante para mantener el catalizador fluidizado.

### **3.1.2. Sistema de almacenamiento de catalizador**

Es importante mencionar que en el convertidor actualmente se introduce catalizador fresco por carga. En la figura 3.2 se muestra el sistema de almacenamiento de catalizador, en donde al tambor F-8A con una capacidad de 350 toneladas, se le extrae a través de un eyector (J-10) cada 2 días catalizador listo para ser introducido en el regenerador. Éste se almacena en una pequeña tolva (F-8) de 15 toneladas de capacidad, las cuales se dosifican al regenerador de 5 toneladas diarias y por medio de aire del soplador principal J-1 se envía hacia el regenerador de donde también cada 2 o 3 días se extrae catalizador de equilibrio, es decir, aquel que ya ha perdido su actividad catalítica por deposición de coque y de metales y no puede ser regenerado. Su almacenamiento se realiza en la tolva F-1 con capacidad de almacenamiento de 310 toneladas. [13]



**FIGURA 3.2** Sistema de almacenamiento del catalizador.

### 3.2 Determinación de las áreas afectadas por emisiones de catalizador

Para determinar las zonas afectadas, se realizaron visitas frecuentes a la planta en los distintos turnos de trabajo, y tomando en cuenta las actividades de transferencia y retiro de catalizador, que no se realiza a diario, pero si con una frecuencia de dos a tres días. Este objetivo se realizó con el apoyo de la encuesta realizada a los trabajadores de la planta principalmente en la pregunta número 4.

Sirviendo de partida para el desarrollo de este objetivo, principalmente por la experiencia, conocimiento y manejo de la planta que poseen los empleados. A continuación se muestra la serie de preguntas realizada en forma de encuesta:

1. Cargo que desempeña en la planta:
2. ¿Que labores le corresponde a usted desempeñar dentro de la planta, según su cargo?
3. ¿Que áreas de la planta forman parte de su recorrido habitual, durante la jornada laboral?
4. ¿Qué zonas de la planta considera usted que presentan emisiones visibles de catalizador?
5. ¿Qué tiempo considera usted que esta expuesto a emisiones visibles de catalizador?
6. Cómo califica su categoría de exposición a polvos de catalizador:
  - A) Ningún contacto.
  - B) Contacto poco frecuente a bajas concentraciones.
  - C) Contacto frecuente a bajas concentraciones o contacto poco frecuente a concentraciones o niveles altos.
  - D) Contacto frecuente a concentraciones o niveles altos.
  - E) Contacto frecuente a concentraciones o niveles muy altos.

### 3.3. Estimación del nivel de riesgo de exposición a polvos de catalizador en las instalaciones y puestos de trabajo en FCC

Este objetivo se realizó a través de una encuesta estructurada mostrada en el punto 3.2 a los empleados de la planta.

A continuación se muestran los pasos para estimación de riesgos a través de las distintas categorías basada en los resultados de la encuesta:

### 3.3.1 Estimación de la intensidad de exposición

La intensidad de exposición, se refleja de acuerdo con el cargo y las actividades desarrolladas por cada empleado, que viene dado por el tiempo de contacto con el catalizador y áreas de transferencia, basado en el manual de higiene ocupacional HO-H-02: Guía para la identificación de peligros, evaluación y control de riesgos [16]. A continuación se muestran los tipos de categorías que se emplearon para este estudio en la tabla 3.1

Es importante resaltar que se realizó de forma directa a través de la observación continua, el correcto desarrollo y manejo de las actividades de cada empleado de acuerdo con su función, porque pueden representa un factor de riesgo.

**TABLA 3.1** Categoría de exposición de acuerdo a los niveles de contacto con el catalizador. [16]

<b>Categoría de exposición</b>	<b>Contacto con el catalizador y zona de transferencia</b>
<b>0</b>	Ningún contacto ( <b>A</b> )
<b>1</b>	Contacto poco frecuente a bajas concentraciones ( <b>B</b> )
<b>2</b>	Contacto poco frecuente a bajas concentraciones o contacto poco frecuente a altas concentraciones ( <b>C</b> )
<b>3</b>	Contacto frecuente a niveles altos de concentración ( <b>D</b> )
<b>4</b>	Contacto frecuente a concentraciones muy altas( <b>E</b> )

### 3.3.2 Nivel de exposición con respecto al cargo que desempeñan los empleados en FCC

A través de la observación directa y continua, durante 8 semanas, de las actividades desarrolladas por cada empleado dentro de su turno de trabajo en la planta FCC y datos arrojados en la encuesta, se determina el nivel de exposición de los trabajadores de acuerdo con su cargo.

Este paso para la determinación de riesgos, se basa en la jornada laboral que desempeña la planta y los empleados de acuerdo con su ocupación. La planta tiene una operatividad de 24 horas al día durante todo el año (proceso continuo), la distribución de los trabajadores es de la siguiente manera:

26 trabajadores en total, de los cuales uno es para cubrir la falta de cualquier empleado (es opcional no siempre está en la planta) y los 20 restantes siempre son trabajadores activos en sus turnos distribuidos por cargo de la siguiente forma: cinco consolistas, cinco operadores de primera, cinco operadores de segunda, cinco operadores de

tercera, cinco técnicos. Son cinco trabajadores por turno cada uno con un rol diferente que a continuación se expone:

- **El consolista;** no es tomado en cuenta para el estudio debido a que éste desarrolla su jornada en una cabina cerrada y no está en contacto con la zona de transferencia de catalizador, debido a que su función es monitorear el proceso a través de una pantalla.
- **El técnico;** cumple la función de supervisar la planta y las labores de todos los operadores.
- **El operador de primera,** realiza recorridos por toda la planta supervisando cada zona monitoreando y asistiendo el trabajo de los operadores de segunda y tercera.
- **El operador de segunda,** es el encargado de realizar recorridos en toda la planta y en especial las operaciones de transferencia de catalizador.
- **El operador de tercera,** se encarga de asistir las labores de los demás operadores y el sistema de bombas, que se encuentra en una zona muy cercana al sistema de transferencia de catalizador.

De los cinco trabajadores por turno, serán tomados en cuenta cuatro por turno, siendo excluido el consolista debido a que la función que desarrolla y la ubicación de la caseta lo aleja de tener un nivel de exposición y por tanto un nivel de riesgo, aunque no se descarta la posibilidad.

### 3.3.3 Estimación de la severidad del efecto sobre la salud del catalizador en la planta FCC

De acuerdo con el manual de higiene ocupacional H-OH-02 se muestran a continuación las distintas categorías de exposición En la tabla 3.32 que servirá para clasificar a los empleados en planta y el nivel de los efectos sobre la salud que puede alcanzar, estas categorías serán determinadas mediante los aspectos tratados en la encuesta.

**TABLA 3.2** Categoría de exposición de acuerdo a los efectos sobre la salud [16]

<b>Categoría de exposición</b>	<b>Efecto sobre la salud</b>
<b>0</b>	Efectos reversibles de poco interés ( <b>A</b> )
<b>1</b>	Efectos reversibles a la salud ( <b>B</b> )
<b>2</b>	Efectos severos a la salud, reversibles ( <b>C</b> )
<b>3</b>	Efectos irreversibles a la salud ( <b>D</b> )
<b>4</b>	Amenazas a la vida daños o enfermedades incapacitantes ( <b>E</b> )

### 3.3.4 Nivel de riesgo

Por último el nivel de riesgo se logra a través de la intercepción de la categoría predominante en los niveles de exposición al agente con respecto a la categoría de efectos sobre la salud que predomina, como lo indica el manual de higiene ocupacional de PDVSA Refinería de Puerto La Cruz [16], se muestra en la figura 3.3.

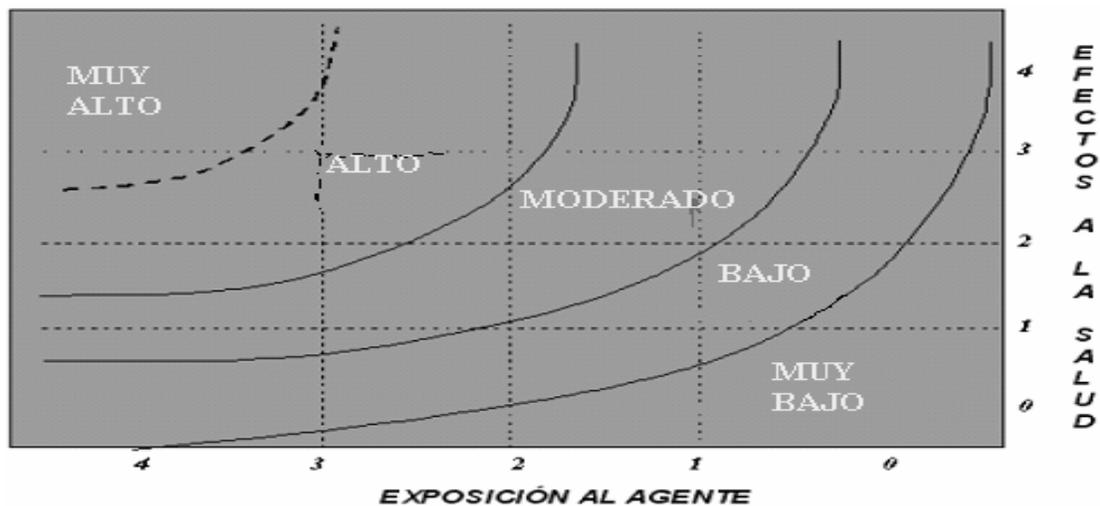


FIGURA 3.3 Nivel de riesgo [16]

### 3.4 Medición de las concentraciones de polvo total y respirable en el área de transferencia de catalizador en la planta FCC.

Para la determinación de las concentraciones de polvo total y respirable de catalizador en FCC se realizó el muestreo mediante las normas del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene Ocupacional de los Estados Unidos de América NSHT 0500: Determinación de las concentraciones de polvo ambiental [17]. Estas normas se muestran en el anexo 6

#### ✓ Distribución de tiempo de muestreo por turnos de trabajo

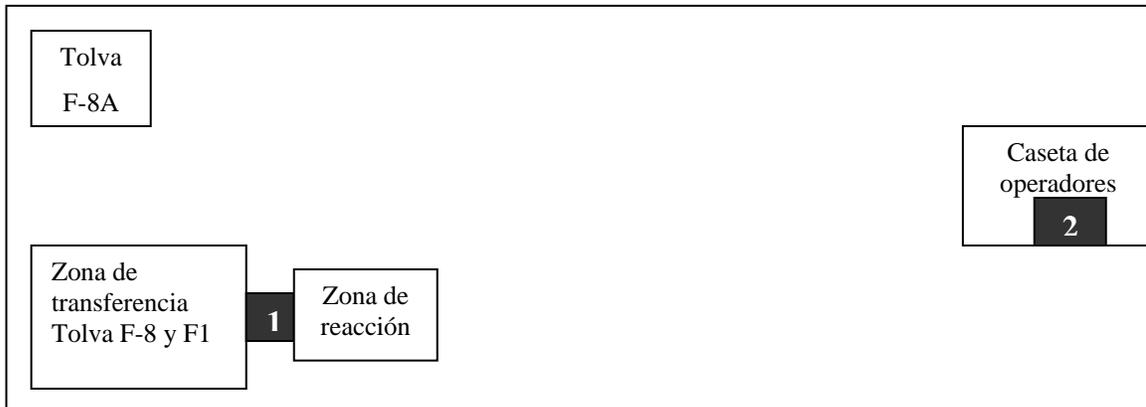
La jornada laboral para cada trabajador es de ocho horas con turnos establecidos de la siguiente manera:

- Turno diurno: de 7:00 am a 3:00 pm
- Turno mixto: de 3:00 pm a 11:00 pm
- Turno nocturno: de 11:00 pm a 7:00 am

En el muestreo para polvos respirables, para obtener una muestra representativa se tomó más de un 50% de los turnos, es decir, de los tres turnos se tomaron en cuenta dos, el turno diurno y el turno mixto, con cobertura de cuatro horas de muestreo seleccionado en cada turno.

Dentro de las cuatro horas fijadas en cada turno, el muestreo se divide en dos etapas de 2 horas por turno, se tomó esta medida como previsión para no colapsar los filtros, que

según especificaciones de la norma NSHT 0500 no debe exceder de un rango de 0,5 a 10 miligramos por metro cúbico. [17]



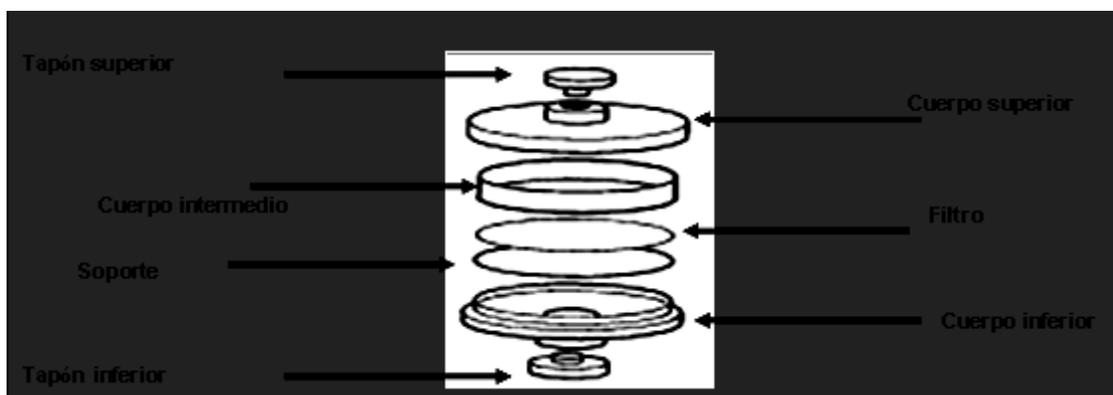
**FIGURA 3.4.** Ubicación de los puntos de muestreo ambiental dentro de la planta.

#### ✓ Cantidad de puntos de muestreo seleccionados

Para el muestreo ambiental se seleccionaron dos zonas, una justo al lado de la tolva F-8 que abarca la zona de transferencia de catalizador, que es la de mayor exposición visible a polvo de catalizador y otra dentro de la caseta de operadores, que es una zona de poca exposición visible, para establecer comparación de las concentraciones con respecto a las zonas de trabajo.

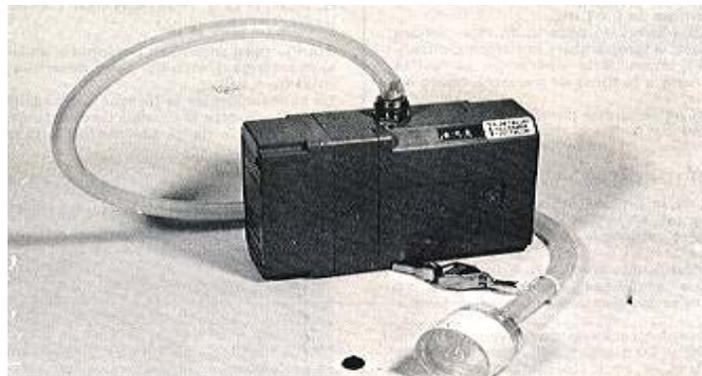
#### ✓ Procedimiento para la toma de muestra

- Inicialmente los filtros fueron sometidos a 24 horas de secado para ser pesados.
- La calibración se realizó para un caudal de 1,080 litros por minutos (L/min) (tomado de un rango de 1 a 2 litros). Valores establecidos por las norma.
- Se realizó el montaje del cassette, mostrado en la figura 3.5.



**FIGURA 3.5.** Montaje del cassette para el muestreo personal y ambiental. [7]

- Se colocó la bomba de aspiración, ya calibrada en el ambiente seleccionado, el tiempo de muestreo establecido es 120 minutos para polvos totales.
- Se une la bomba al muestreador con un tubo de plástico que se fija en el lugar de muestreo, se retiró el tapón del orificio de salida del portafiltros e inmediatamente, se acopló al extremo libre del tubo flexible. En la figura 3.6 se muestra el montaje del equipo.
- Durante la captación, se vigiló periódicamente el correcto funcionamiento de la bomba.
- Se retiró con cuidado el muestreador y se tapó para ser etiquetado de forma clara con el número que identificó la muestra tomada.
- Se midió de nuevo el caudal de la bomba de aspiración una vez finalizada la toma de muestra. (La muestra tomada puede no ser válida si los caudales medidos antes y después de tomar la muestra difieren en más del 5%).
- Se colocó en el lugar seleccionado adyacente a la tolva F-8 y F-1.
- Se sometieron los filtros a 24 horas de secado y se volvió a pesar cada uno.
- Para cada turno de muestreo se tomó un blanco en los distintos ambientes, dos blancos por turnos, puesto que, los ambientes de estudio fueron dos. [17]



**FIGURA 3.6.** Equipo de recolección de polvo total. [8]

#### ✓ **Equipos y materiales empleados para el muestreo ambiental**

##### Equipos:

- Bomba de aspiración gravimétrica: Para muestra ambiental:, rango: de 0,5-3 lt/min
- Cronómetro.
- Calibrador de flujo de bombas de aspiración gravimétrica: apreciación:0.01cm<sup>3</sup>/min
- Desecador de filtros, de vidrio Pyrex y secante de sílica. Sin válvula de vacío
- Balanza de presión eléctrica, apreciación:0,0001gr

##### Materiales:

- Portafiltros o cassettes de 2 cuerpos en Plástico transparente y diámetro: 37mm
- Filtros de PVC GLA5000, diámetro: 37mm, diámetro de poros: 5 µm
- Tubo flexible de polietileno de 6,4mm de diámetro interior y 1 m de longitud.

✓ **Procedimiento para la determinación del caudal real, para polvos totales.**

Antes y al final de la toma de muestra se realizaron tres lecturas de caudal de las cuales se obtuvo un valor promedio inicial y un valor promedio final, como se muestra a continuación. [9]:

$$Q_{pi} = \frac{L_{1i} + L_{2i} + L_{3i}}{3} \quad (\text{Ec 3.1})$$

donde:

$Q_{pi}$ : caudal promedio inicial L/min.

$L_{1i}$ : Primera lectura de caudal inicial en L/min.

$L_{2i}$ : Segunda lectura de caudal inicial en L/min.

$L_{3i}$ : Tercera lectura de caudal inicial en L/min.

A continuación se realizó el cálculo para valor promedio inicial para el turno diurno del primer día de muestreo con la bomba 3 para polvos totales tomados de la tabla 3.3

$$Q_{pi} = \frac{(1,085 + 1,084 + 1,087)L/\text{min}}{3}$$

$Q_{pi} = 1,085 \text{ L/min}$
--------------------------------

De igual forma se realizaron los cálculos para el resto de los datos de los diferentes días, los resultados se observan en la tabla 3.3 para el primer, segundo y tercer día de muestreo.

**TABLA 3.3.** Valores de mediciones de caudales iniciales y finales para muestreo ambiental.

Nº de equipo	Ubicación	turno	Lectura 1 de caudal (m3/min)	Lectura 2 de caudal (m3/min)	Lectura 3 de caudal (m3/min)	Caudal promedio (m3/min)	Caudal real m3/min
<b>Primer día de muestreo</b>							
Bomba 3 polvo Total	Tolva	Diurno inicial	1,085	1,084	1,087	1,085	1,083
		Diurno final	1,081	1,079	1,080	1,080	
Bomba 4 polvo	Caseta	Diurno inicial	1,077	1,080	1,079	1,079	1,078

Total		Diurno final	1,076	1,078	1,079	1,078	
Bomba 3 polvo Total	Tolva	Mixto inicial	1,083	1,081	1,080	1,081	1,013
		Mixto final	0,947	0,943	0,945	0,945	
Bomba 4 polvo Total	Caseta	Mixto inicial	1,082	1,083	1,079	1,081	1,033
		Mixto final	0,988	0,983	0,984	0,985	
<b>Segundo día de muestreo</b>							
Bomba 3 polvo Total	Tolva	Diurno inicial	1,074	1,067	1,074	1,071	0,985
		Diurno final	0,900	0,897	0,895	0,897	
Bomba 4 polvo Total	Caseta	Diurno inicial	1,077	1,079	1,085	1,080	1,019
		Diurno final	0,957	0,957	0,956	0,957	
Bomba 3 polvo Total	Tolva	Mixto inicial	1,079	1,082	1,078	1,080	1,076
		Mixto final	1,072	1,072	1,073	1,072	
<b>Tercer día de muestreo</b>							
Bomba 3 polvo total	Tolva	Diurno inicial	1,081	1,082	1,082	1,082	1,080
		Diurno final	1,079	1,078	1,079	1,079	
Bomba 3 polvo total	Tolva	Mixto inicial	1,082	1,082	1,083	1,083	1,081
		Mixto final	1,079	1,078	1,079	1,079	

Los caudales promedios finales, sirven de base para obtener el caudal real del estudio de polvos respirables diurno, a continuación se muestra el cálculo realizado con la bomba 1, mediante la siguiente ecuación. [9]:

$$Q_r = \frac{Q_{pi} + Q_{pf}}{2} \quad (\text{Ec 3.2})$$

donde:

$Q_r$  = caudal real en  $\text{m}^3/\text{min}$

$Q_{pi}$  = caudal promedio inicial en  $\text{m}^3/\text{min}$

$Q_{pf}$  = caudal promedio final en  $\text{m}^3/\text{min}$

Cálculos realizados para el turno diurno del primer día de muestreo para la bomba 3.

$$Q_r = \frac{(1,085 + 1,080)L/\text{min}}{2}$$

$Q_r = 1,083 \text{ L/min}$
-----------------------------

De forma análoga se realizaron los cálculos para el resto de los caudales reales, los resultados se muestran en la tabla 3.3 para cada día.

El cálculo del caudal promedio inicial, final y caudal real se realizó de la misma forma para el resto de los caudales fijados antes y después de cada muestreo.

#### ✓ **Determinación de las concentraciones**

Estas concentraciones se comparan con los valores límites establecidos por la norma COVENIN 2253 [19] (anexo A.7) que establece que las concentraciones de polvos permisibles en un ambiente laboral, no debe exceder de  $3 \text{ mg/m}^3$  para polvos ambientales y respirables.

Para el cálculo del volumen de aire aspirado, se utiliza la ecuación siguiente. [9]:

$$V = Q \times t \quad (\text{Ec 3.3})$$

donde:

V: es el volumen de aire aspirado, en litros (L). Polvos respirables  $V_R$  y polvos totales  $V_T$

Q: es el caudal de aire aspirado en litros por minutos (L/min). Para polvos totales según la NSHT 0600 [17] es 1,080 L/min ( $Q_T$ ), tomado de un rango de 1-2 L/min tabla 3.4

t: tiempo empleado en el muestreo en (min), en tiempo fijado es de 120 min.

**TABLA 3.4.** Valores de caudal establecido para el muestreo y volumen calculado.

Tipo de muestreo	Caudal (m3/min)	Volumen (L)
Ambiental	1.080	130

El volumen de polvos totales se calculó a través de la ecuación 3.3 sustituyendo los valores de caudal y tiempo de muestro correspondientes

$$V_R = 1,080 \text{ L/min} \times 120 \text{ min.}$$

$V = 130 \text{ L}$
---------------------

Para determinar la cantidad de muestra se pesaron los filtros al inicio y final de muestreo tres veces, para obtener un valor confiable a través del promedio de las pesadas con la siguiente ecuación. [9]:

$$P = \frac{P_{1i} + P_{2i} + P_{3i}}{3} \quad (\text{Ec 3.4})$$

donde:

P: peso promedio del filtro en miligramos (mg)

p<sub>1</sub> : primera pesada de filtro en mg

p<sub>2</sub> : segunda pesad del filtro en mg

p<sub>3</sub> : tercera pesada del filtro en mg

Se tomaron los valores del filtro 3 inicialmente, para realizar la demostración:

$$P = \frac{12,7 + 12,6 + 12,6}{3}$$

P= 12,7 mg
------------

**TABLA 3.6** Pesos iniciales de los blancos empleados para el muestreo ambiental.

Nº de blanco	Primera pesada (mg)	Segunda pesada (mg)	Tercera pesada (mg)	Peso Promedio (mg)	Ubicación de la muestra
1	13,7	13,7	13,8	13,7	Tolva
2	13,4	13,5	13,5	13,5	Caseta
3	13,4	13,5	13,5	13,5	Tolva
4	13,3	13,3	13,3	13,3	Caseta
5	13,9	13,9	13,9	13,9	Tolva
6	13,6	13,7	13,7	13,7	Caseta
7	12,0	12,0	11,9	12,0	Caseta
8	14,4	14,4	14,3	14,4	Tolva
9	12,5	12,6	12,6	12,6	Caseta
10	13,3	13,3	13,4	13,3	Tolva
11	13,7	13,7	13,7	13,7	Tolva
12	13,6	13,7	13,6	13,6	Caseta

**TABLA 3.5.** Pesos iniciales y finales de los filtros empleados para el muestreo ambiental.

Nº de filtro	Primera pesada (mg)	Segunda pesada (mg)	Tercera pesada (mg)	Promedio (mg)	Ubicación de la muestra	Nº de Blanco
<b>Pesos iniciales</b>						
3	12,7	12,6	12,6	12,6	Tolva	5
4	13,2	13,1	13,1	13,1	Caseta	6
7	13,4	13,3	13,4	13,4	Tolva	5
8	14,6	14,5	14,6	14,6	Caseta	8
9	12,1	12,1	12,1	12,1	Caseta	4
10	13,5	13,6	13,6	13,6	Tolva	3
13	14,6	14,5	14,4	14,5	Caseta	4
14	14,7	14,6	14,7	14,7	Tolva	3

17	12,7	12,7	12,6	12,7	Caseta	2
18	13,1	13,1	13,0	13,1	Tolva	1
21	15,3	15,3	15,4	15,3	Caseta	2
22	12,8	12,7	12,8	12,8	Tolva	1
27	11,2	11,1	11,3	11,2	Tolva	11
30	12,2	12,3	12,2	12,2	Tolva	11
33	13,6	13,8	13,9	13,8	Tolva	10
35	12,4	12,4	12,4	12,4	Tolva	10
41	12,0	12,0	12,0	12,0	Tolva	8
42	12,8	12,6	12,8	12,7	Tolva	8
<b>Pesos finales</b>						
3	12,7	12,7	12,8	12,7	Tolva	5
4	13,2	13,3	13,3	13,3	Caseta	6
7	13,5	13,5	13,4	13,5	Tolva	5
8	14,7	14,6	14,6	14,6	Caseta	8
9	12,1	12,1	12,1	12,1	Caseta	4
10	13,7	13,6	13,6	13,6	Tolva	3
13	14,5	14,5	14,5	14,5	Caseta	4
14	14,8	14,8	14,9	14,8	Tolva	3
17	12,7	12,7	12,6	12,7	Caseta	2
18	13,3	13,2	13,2	13,2	Tolva	1
21	15,3	15,4	15,3	15,3	Caseta	2
22	13,6	13,5	13,6	13,6	Tolva	1
27	14,3	14,3	14,3	14,3	Tolva	11

De forma análoga se realizaron los cálculos para el resto de los filtros y blancos, antes del muestreo se muestran en las tablas 3.5 y 3.6 respectivamente. Después del muestreo se repiten los cálculos y los resultados se reflejan en las tablas 3.5 y 3.6 para los filtros y blancos respectivamente, donde se observan datos de las tres pesadas y los resultados de los promedios. Para la cantidad de muestra se empleó la ecuación siguiente. [9]:

$$\text{Cantidad de muestra} = Pf - Pi \quad (\text{Ec 3.5})$$

Donde:

Pi: peso promedio inicial de filtro en mg

Pf: peso promedio final de filtro en mg

Para el filtro 3 se realizó el siguiente cálculo:

$$\text{Cantidad de muestra} = (12,7 - 12,6) \text{ mg}$$

Cantidad de muestra = 0,1 mg
------------------------------

**TABLA 3.7.** Pesos finales de los blancos empleados para el muestreo ambiental

Nº de blanco	Primera pesada(mg)	Segunda pesada(mg)	Tercera pesada(mg)	Promedio (mg)	Ubicación de la muestra	Cantidad de muestra(mg)
1	13,8	13,8	13,8	13,8	Tolva	0,1
2	13,4	13,5	13,5	13,5	Caseta	0,0
3	13,5	13,5	13,4	13,5	Tolva	0,0
4	13,3	13,3	13,3	13,3	Caseta	0,0
5	13,9	13,9	13,9	13,9	Tolva	0,0
6	13,7	13,7	13,7	13,7	Caseta	0,0
7	12,0	12,0	12,0	12,0	Caseta	0,0
8	14,4	14,4	14,3	14,4	Tolva	0,0
9	12,6	12,6	12,5	12,6	Caseta	0,0
10	13,3	13,3	13,4	13,3	Tolva	0,0
11	13,9	13,8	13,9	13,9	Tolva	0,2
12	13,7	13,6	13,6	13,6	Caseta	0,0

En las tablas 3.5 se muestran los datos de los pesos promedios iniciales y finales y la cantidad de muestra para cada filtro; los blancos se presentan en la tabla de anexos 3.6 y 3.7. el mismo cálculo se empleó para todos los filtros y blancos. Para el cálculo de las concentraciones se utiliza la ecuación siguiente. [18]:

$$C = \frac{[(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)] \times 1.000 \text{ mg/m}^3}{V} \quad (\text{Ec 3.6})$$

donde:

C: es la concentración de polvos en la muestra, en miligramos por metro cúbico (mg/m<sup>3</sup>).

W1: es el peso del filtro antes de muestrear, en miligramos (mg).

W2: es el peso del filtro después de muestrear, mg.

B1: es el peso del filtro usado como blanco de campo antes del muestreo, en mg.

B2: es el peso del filtro usado como blanco de campo después del muestreo, en mg.

V: es el volumen de aire muestreado, en litros (L).

El cálculo de concentración para la muestra ambiental de filtro numero 3 se realizó mediante los datos de las tablas 3.5, 3.6 y 3.7, que muestra los pesos iniciales y finales para todos los filtros y blancos empleados:

$$C = \frac{[(12,7 - 12,6) - (13,9 - 13,9)] \times 1.000 \text{ mg/m}^3}{130L}$$

$$C = 0,77 \text{ mg/m}^3$$

De forma análoga se realizaron los cálculos para el resto de las concentraciones ambientales mostradas en la tabla 3.8.

**TABLA 3.8.** Valores de las concentraciones de polvo obtenidas en el muestreo ambiental.

N° de Filtro	Peso final (mg)	Peso inicial (mg)	N° de Blanco	Cantidad de muestra	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )	Ubicación de la muestra
3	12,7	12,6	5	0,1	0,77	Tolva
4	13,3	13,1	6	0,2	1,54	Caseta
7	13,5	13,4	5	0,1	0,77	Tolva
8	14,6	14,6	8	0,0	0,00	Caseta
9	12,1	12,1	4	0,0	0,00	
10	13,6	13,6	3	0,0	0,00	Tolva
13	14,5	14,5	4	0,0	0,00	Caseta
14	14,8	14,7	3	0,1	0,77	Tolva
17	12,7	12,7	2	0,0	0,00	Caseta
18	13,2	13,1	1	0,1	0,00	Tolva
21	15,3	15,3	2	0,0	0,00	Caseta
22	13,6	12,8	1	0,8	5,38	Tolva
27	14,3	11,2	11	3,1	22,3	
30	12,5	12,2	11	0,3	0,77	
33	13,8	13,8	10	0,0	0,00	
35	13,3	12,4	10	0,9	6,92	
41	12,3	12,0	8	0,3	2,31	
42	13,3	12,7	8	0,6	4,62	

#### ✓ La exposición ponderada de los trabajadores

La exposición ponderada de los trabajadores, se refiere a la jornada de tiempo de trabajo desarrollada por los empleados, que es de ocho (8) horas, La exposición ponderada se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula. [18]:

$$Ep(8) = \frac{(C_1 \times t_1 + C_2 \times t_2 + C_3 \times t_3)}{8h} \quad (\text{Ec 3.7})$$

donde:

Cn: es la concentración ambiental o respirable constante durante un período determinado de tiempo, expresada en mg/m<sup>3</sup> o ppm

tn: es el tiempo de la exposición a la concentración, Cn expresado en horas

Ep(8): es la exposición ponderada para 8 horas(h).

Sustituyendo los valores correspondientes de concentración y tiempo queda:

$$Ep(8) = \frac{(0,76mg / m^3 \times 2h_1 + 1,53mg / m^3 \times 2h... + 4,62mg / m^3 \times 2h)}{8h}$$

Luego se realiza la sumatoria de los resultados de las concentraciones con respecto al tiempo de muestreo, se divide en 8 horas para ponderar las concentraciones en ese tiempo

Obteniendo:

$$Ep(8) = \frac{92,28 \text{ mg} / \text{m}^3 \times h}{8h}$$

$Ep(8) = 11,54 \text{ mg} / \text{m}^3$
---

### 3.5 Determinación del personal que, de acuerdo a la norma COVENIN 2253, está ocupacionalmente expuesto.

El personal ocupacionalmente expuesto se determinó mediante la norma COVENIN 2253 que establece que las concentraciones de polvos permisibles en un ambiente laboral, no debe exceder de  $10 \text{ mg} / \text{m}^3$  para polvo inhalable. Este objetivo fue fundamento en la determinación de las concentraciones de polvos inhalables, para establecer una comparación con los límites de las concentraciones establecidas por la norma. [19].

Todo lo referente al muestreo para la determinación de las concentraciones se realizó mediante los parámetros de la norma del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene Ocupacional de los Estados Unidos de América NSHT 0600: Determinación de las concentraciones de polvo inhalable. Anexo A.8 [18].

#### ✓ *Población establecida para el muestreo*

Dentro de la población de estudio existen dos grupos homogéneos, cada grupo está compuesto por dos empleados:

- Operador de segunda y tercera: el mayor tiempo de la jornada laboral lo desarrollan en la planta en la zona de transferencia o muy cerca de ésta.
- Técnico y operadores de primera: Realizan labores esporádicas dentro de la zona de transferencia y mayor tiempo en la caseta de operadores.

De la población total, cuatro empleados, se seleccionaron dos, *un operador de segunda* que se encuentra dentro del grupo de mayor exposición a la zona de transferencia de catalizador y *un operador de primera* que se encuentra en el grupo de los de menor exposición, como forma de establecer comparación de exposición de acuerdo a los grupos de trabajo que desarrollan actividades diferentes

#### ✓ *Procedimiento para la toma de muestra*

- Inicialmente los filtros fueron sometidos a 24 horas de secado para ser pesados.
- La calibración se realizó al caudal de 1,700 litros por minuto (L/min) valor establecido por la norma.
  - Se realizó el montaje del cassette, mostrado en la figura 3.5.
  - Se colocó la bomba de aspiración, ya calibrada, en el trabajador (en la parte posterior de la cintura asegurándola con un cinturón apropiado, se demuestra en la figura 3.6), el tiempo de muestreo establecido es de 120 min tanto para polvos totales como para respirables.

- Se une la bomba al muestreador con un tubo de plástico que se fija al arnés o a la vestimenta del trabajador de forma segura, de manera que el muestreador quede sujeto a la altura de la solapa en la “zona de respiración” del trabajador.

Se retiraron los tapones de los orificios de entrada y salida del portafiltros e inmediatamente, éste se colocó en el dispositivo que permite su acople con el ciclón, se aseguró que el orificio de entrada del portafiltros coincidiera con el orificio de salida del ciclón, luego se conectó el dispositivo de acople al extremo libre del tubo flexible.

- Se comprobó la perfecta quietud del equipo. Se retiró la tapa protectora del muestreador y se puso la bomba en funcionamiento, iniciándose la captación de la muestra.
- Durante la captación, se vigiló periódicamente el correcto funcionamiento de la bomba.
- Se retiró con cuidado el muestreador y se tapó para ser etiquetada de forma clara con el número que identificó la muestra tomada.
- Se midió de nuevo el caudal de la bomba de aspiración una vez finalizada la toma de muestra. (La muestra tomada puede no ser válida si los caudales medidos antes y después de tomar la muestra difieren en más del 5%).
- Se sometieron los filtros a 24 horas de secado y se volvió a pesar cada uno.
- Para cada turno de muestreo se tomó un blanco. [18]

#### ✓ **Equipos y materiales empleados para el muestreo personal**

Equipos:

- Bomba de aspiración gravimétrica: Para muestra personal: rango: 850-5000 cc/min
- Ciclón de Nylon con diámetro interior de 10mm.
- Cronómetro.
- Calibrador de flujo de bombas de aspiración gravimétrica: rango: 2-6lt/min, apreciación: 0,01cm<sup>3</sup>/min
- Desecador de filtros, de vidrio Pyrex y secante de silica. Sin válvula de vacío
- Balanza de presión eléctrica, , apreciación:0,0001gr

Materiales:

- Portafiltros o cassettes de 2 cuerpos en Plástico transparente y diámetro: 37mm
- Filtros de PVC GLA5000, diámetro: 37mm, diámetro de poros: 5 µm
- Tubo flexible de polietileno de 6,4mm de diámetro interior y 1 m de longitud.



**FIGURA 3.6** Montaje del equipo para muestreo personal. [8]

El cálculo para valor de caudal promedio inicial, final y real se realizó de la misma forma que para el muestreo ambiental, los datos se muestran en la tabla 3.3, donde se muestran los valores para los tres días de muestreo respectivamente, los resultados de los valores promedio, también se reflejan en las tablas de anexos citadas

De la misma forma para el cálculo de los pesos iniciales y finales que se muestran en la tabla 3.5, se hizo de igual manera para el muestreo ambiental, igual procedimiento se utilizó para el volumen calculado; los datos y resultado del volumen obtenido se muestra en la tabla 3.9

El volumen de polvos respirables se calculó a través de la ecuación 3.3 sustituyendo los valores de caudal y tiempo de muestro correspondientes.

$$V_R = 1,700 \text{ m}^3/\text{min} \times 120 \text{ min.}$$

$V = 204 \text{ L}$
---------------------

**TABLA 3.9.** Valores de caudal establecido para el muestreo y volumen calculado.

Tipo de muestreo	Caudal (m <sup>3</sup> /min)	Volumen (L)
Inhalables	1.700	204

✓ **Determinación de las concentraciones**

El cálculo de las concentraciones de muestreo personal se realizó igual que para muestreo ambiental y los resultados se muestran en la tabla 3.10

**TABLA 3.10.** Valores de las concentraciones de polvo obtenidas en el muestreo personal.

Nº de Filtro	Peso final (mg)	Peso inicial (mg)	Nº de Blanco	Cantidad de muestra	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )	Ubicación de la muestra
1	14,8	14,4	6	0,4	1,96	Operador 2º
2	15,1	14,9	6	0,2	0,98	Operador 1º
5	13,5	13,4	6	0,1	0,49	Operador 1º
6	13,5	13,1	6	0,4	1,96	Operador 2º
11	12,6	12,6	4	0,0	0,00	Operador 2º
12	13,6	13,1	4	0,5	2,45	Operador 1º
15	13,3	13,2	4	0,1	0,49	Operador 2º
16	14,3	14,3	4	0,0	0,00	Operador 1º
19	11,1	11,1	2	0,0	0,00	Operador 1º
20	12,6	12,5	2	0,1	0,49	Operador 2º
23	15,1	15,0	2	0,1	0,49	Operador 2º
24	13,6	13,3	2	0,3	1,47	Operador 1º
25	13,4	12,1	12	1,3	6,37	Operador 2º
26	15,1	14,7	12	0,4	1,96	Operador 1º
28	15,4	10,9	12	4,5	22,1	Operador 2º
29	12,2	12,2	12	0,0	0,00	Operador 1º
31	12,6	12,5	9	0,1	0,49	Operador 2º
32	14,7	14,6	9	0,1	0,49	Operador 1º
34	14,7	14,6	9	0,1	0,49	Operador 2º
36	13,9	13,7	9	0,2	0,98	Operador 1º
37	15,1	15,0	7	0,1	0,49	Operador 1º
38	12,8	12,6	7	0,2	0,98	Operador 2º
39	15,0	14,7	7	0,3	1,47	Operador 1º
40	13,9	13,3	7	0,6	2,94	Operador 2º

✓ **La exposición ponderada de los trabajadores**

Este cálculo se realizó tomando los valores de la tabla 3.11, este valor se obtuvo de igual manera que para muestreo ambiental, el resultado se muestra a continuación

$$E_p(8) = 11,04 \text{mg/m}^3$$

**3.6. Proposición de las medidas de control necesarias para la reducción de las emisiones y/o la exposición de los trabajadores a polvos de catalizador, hasta valores de referencia aceptables dentro de los niveles técnicos de referencia de exposición (NTRE).**

De acuerdo con las características que presenta las zonas críticas por pérdidas de catalizador en el proceso de transferencia y material liberado en cada zona se proponen un equipo de recolección de polvos distinto para cada caso.

Para la zona 1, que es el sistema de transferencia de catalizador, que va desde la tolva F-8A hasta la tolva F-8, que libera catalizador fresco al ambiente, es recomendable emplear un sistema que permita recuperar este material sin deteriorar sus condiciones físicas. También es de vital importancia para el mejoramiento del sistema de transferencia el cambio del sistema de vapor de agua para movilizar el catalizador.

La zona 2, es la chimenea a la salida del regenerador en el reactor, por el cual sale catalizador gastado y no es necesario recircular al sistema, por lo cual el equipo propuesto es necesario que solo recoja el catalizador sin tener como prioridad conservar las características físicas y químicas, ya que se considera un material de desecho.

La zona 3, es la tolva F-8A que posee válvulas desgastadas se propone el cambio de las válvulas en el sistema.

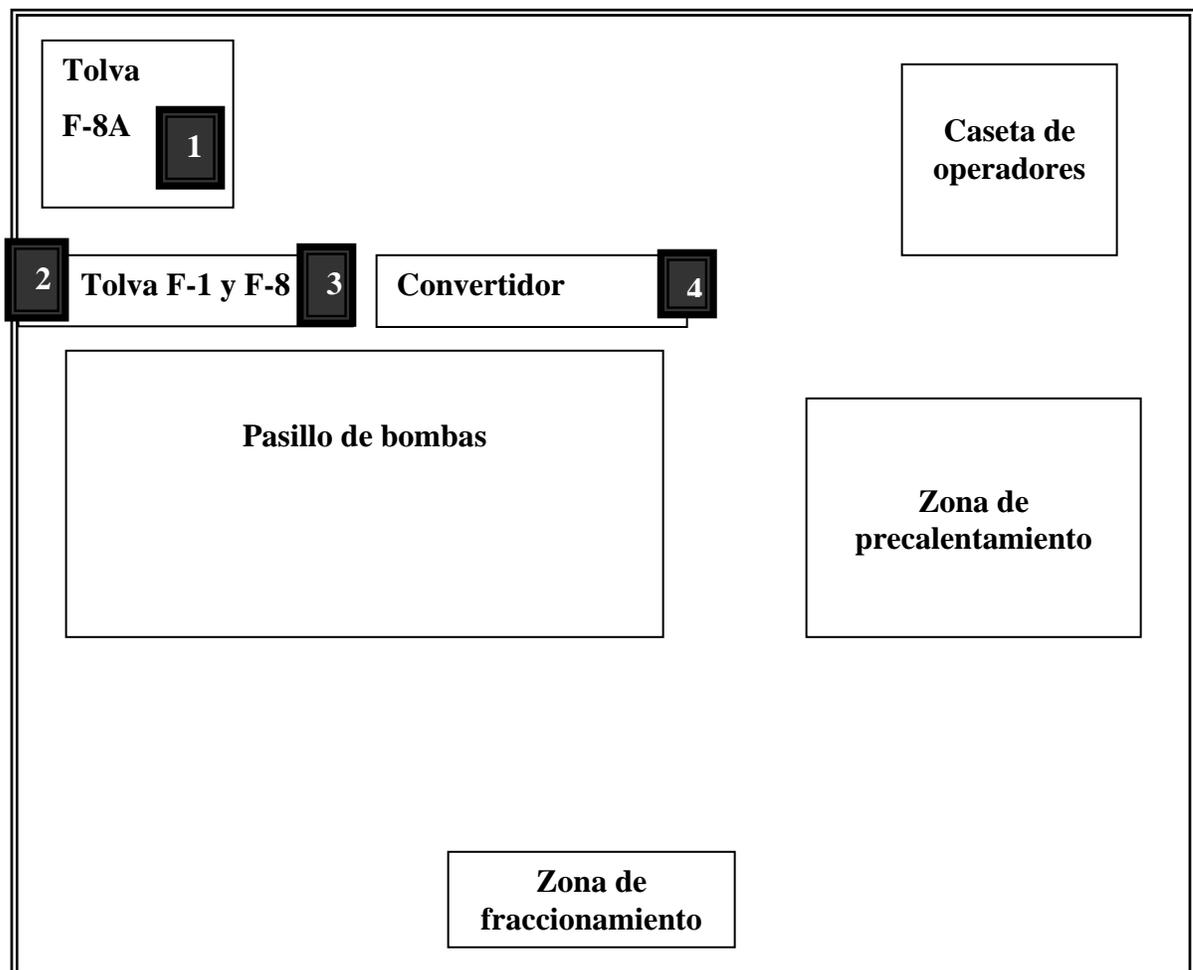
Zona 4, es la tolva de retiro de catalizador gastado, que se realiza con una frecuencia de cada dos días generalmente, el catalizador de la tolva F-1 hasta el camión transportador mediante una manguera cuyo diámetro es mucho menor al orificio de entrada al camión, lo que genera liberación de catalizador durante toda la transferencia. La propuesta para mejorar este sistema esta en función de la Manguera empleada de diámetro 15 centímetros (cm) o el orificio de entrada al camión con diámetro de 40cm.

## CAPITULO IV

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Determinación de las áreas afectadas por emisiones de catalizador

En las zonas de transferencia de catalizador se ubicaron tres zonas afectadas por emisiones, que se representan en la figura 4.1, que es una representación de la planta donde los puntos verdes son los puntos donde se visualizó emisiones.



**FIGURA 4.1** Zonas donde hay presencia de emisiones visibles de polvos de catalizador en FCC.

Este objetivo se desarrolló a través de una observación directa del campo de estudio, examinando directa y consecutivamente las operaciones de transferencia de catalizador. A continuación se detalla cada zona afectada por las emisiones de catalizador:



**Zona 1: tolva de almacenamiento de catalizador F-8A, dispuesta para recibir fresco a la planta**

Forma parte de sistema de almacenamiento, es la tolva F-8A, donde se recibe el catalizador fresco a la planta, esta tolva presenta problemas de fugas de catalizador durante las transferencia a la tolva F-8, debido al mal estado de las válvulas de compuerta que se encuentran en el trayecto de las tuberías, que sirven de impulso a través de inyección de aire, como sistema auxiliar en el traslado de catalizador de la tolva F-8A hasta la tolva F-8, otro aspecto que influye es el uso de la tolva F8-A poco adecuada, ya que debido a las características físicas del catalizador (polvo) y las altas temperaturas en el ambiente, el material se apelmaza. Así como las mangueras usadas en el llenado de la tolva F-8A se encuentran deterioradas. Estos detalles generan fugas de catalizador al ambiente.

**Zona 2: sistema de transferencia de catalizador fresco de la tolva F-8A a la tolva F-8**

También forma parte del sistema de almacenamiento, la tolva F-8, donde es recibido el catalizador de la tolva F-8A, para luego ser administrado al regenerador en el convertidor con una frecuencia de cada dos días, esta tolva posee un sistema de llenado con inyección de vapor de agua a través, de un tubo venturi, un separador o silenciador (denominado de esa forma en la planta) y un recolector, para crear un vacío y pueda transferirse catalizador de la tolva F-8A, este sistema es ineficiente, puesto que, a través de separador se libera una gran cantidad de catalizador a la atmósfera (figura 4.2), aun teniendo un recolector usado para disminuir las emisiones, que tampoco es eficiente por la velocidad a la que entra el flujo de catalizador y vapor de agua, además de ser volátil por sus condiciones físicas, se puede visualizar en la figura 4.3. El catalizador fresco enviado al recolector es retirado a una rejilla de drenaje de la planta que se muestra en la figura 4.4. Además a la salida del separador se encuentra una tubería de vapor de agua, que está siendo afectada con desgaste del material por abrasión del flujo de vapor de agua con catalizador, figura 4.2.



**FIGURA 4.2** Silenciador del sistema de succión de catalizador a la tolva F-8.

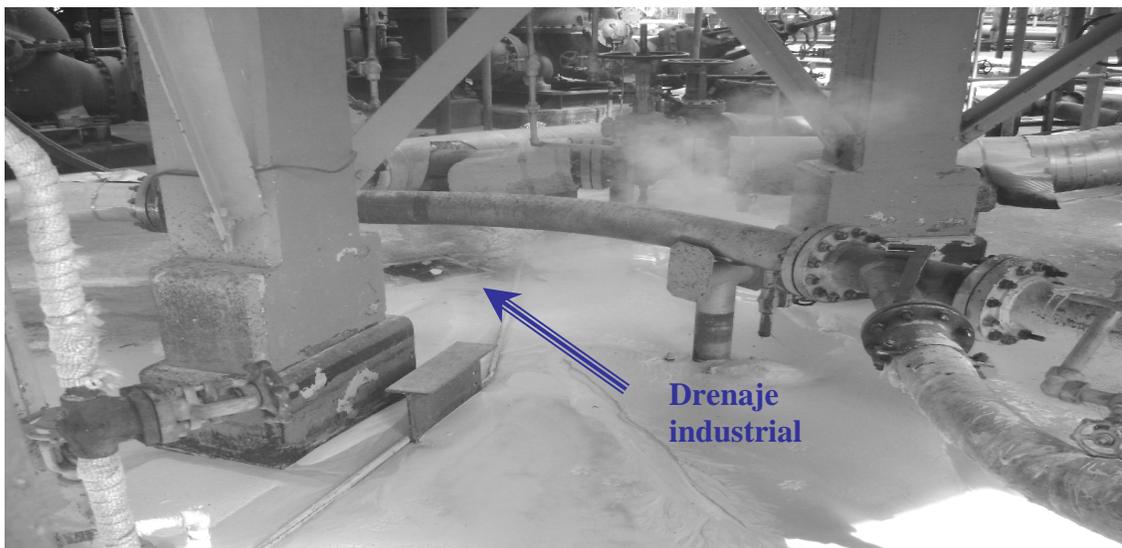


#### Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones

Este sistema de transferencia de catalizador genera pérdidas a la empresa de 100 toneladas de catalizador anuales, determinado por el departamento de Procesos de la refinería Puerto La Cruz.



**FIGURA 4.3.** Recolector del sistema de succión de la tolva F-8 de FCC, imagen izquierda emisiones de catalizador durante la transferencia; imagen derecha vista superior del recolector.



**FIGURA 4.4.** Drenaje industrial donde se libera el catalizador proveniente del recolector de la tolva F-8.

**Zona 3: retiro de catalizador gastado de la tolva F-1**



#### *Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones*

Este sistema de retiro de catalizador gastado de la planta, se realiza cada dos o tres días. El catalizador gastado destinado que debe ser retirado de la planta proviene del sistema de regeneración, al perder actividad es considerado desecho y almacenado en la tolva F-1, para luego ser retirado de la planta a través de camiones, empleando mangueras para trasvasar al camión que no son adecuadas, por poseer un diámetro de 15 centímetro (cm ) menor al del orificio de entrada al camión que es de 40 cm de diámetro, generando liberación de catalizador al ambiente, debido a que se emplea soplado de aire para fluidizar el catalizador, en la figura 4.5, se muestra lo dicho anteriormente.



**FIGURA 4.5** Camión recolector de catalizador gastado, para ser retirado de la planta.

#### **Zona 4: chimenea del convertidor**

Es el reactor, donde ocurre la reacción de craqueo catalítico, en la parte de generación casi al tope del reactor, ocurre la regeneración de catalizador mediante la quema de coque depositado en los poros del mismo. Unido al regenerador en el tope de la planta está la chimenea donde se libera directamente a la atmósfera catalizador gastado y gases de combustión como resultado del proceso de regeneración, como se observa en la figura 4.6.

A través de la chimenea se expulsa a la atmósfera, aproximadamente más de 1,5 toneladas de catalizador de equilibrio mensuales, según el departamento de Procesos de la refinería Puerto La Cruz.



**FIGURA 4.6.** Chimenea del convertidor de FCC

#### **4.2. Estimación el nivel de riesgo de exposición a polvos de catalizador en FCC**

Para cumplir este objetivo se analizaron los resultados de la encuesta realizada a los empleados que se muestran en la tabla 4.1

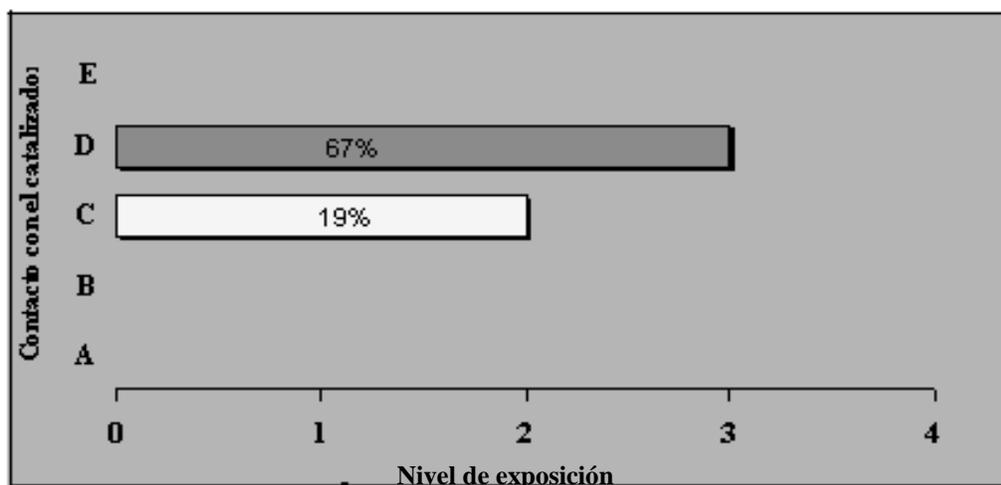
**TABLA 4.1.** Resultados obtenidos de la entrevista realizada a los empleados de FCC

	Categorías de exposición					N ° de trabajadores que respondieron a la entrevista
	0	1	2	3	4	
Severidad del efecto sobre la salud		2	16			
Intensidad de exposición			4	14		

De acuerdo a las categorías presentadas y los resultados de la encuesta, se muestra a continuación en la figura 4.7 la categoría dominante, que es la empleada en la determinación del nivel de riesgo con respecto al contacto con el catalizador.



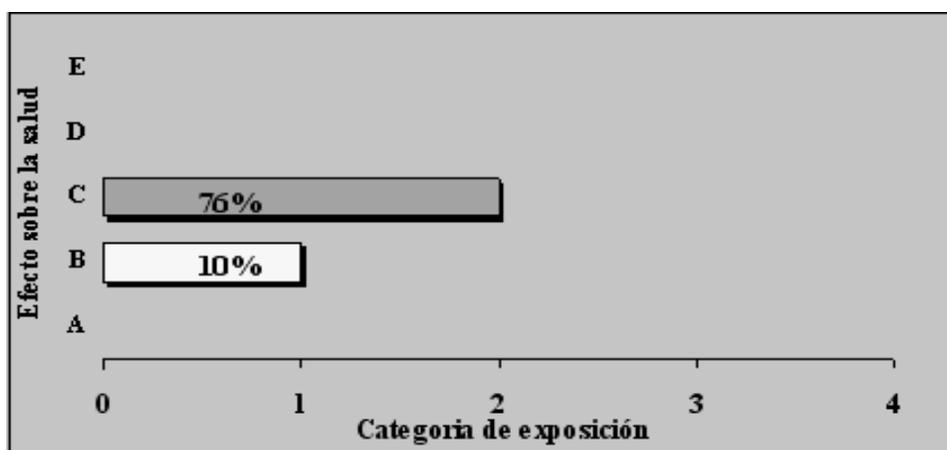
#### Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones



**FIGURA 4.7** Categorías de exposición en función del contacto con polvos de catalizador en los trabajadores de FCC.

El nivel de exposición, determinado en la entrevista realizada fue el nivel 3, que implica un contacto frecuente con el catalizador a concentraciones altas.

Otra categoría importante para la determinación del nivel de riesgo es el nivel de exposición con respecto a los efectos sobre la salud y los resultados arrojados se muestran en la figura 4.8



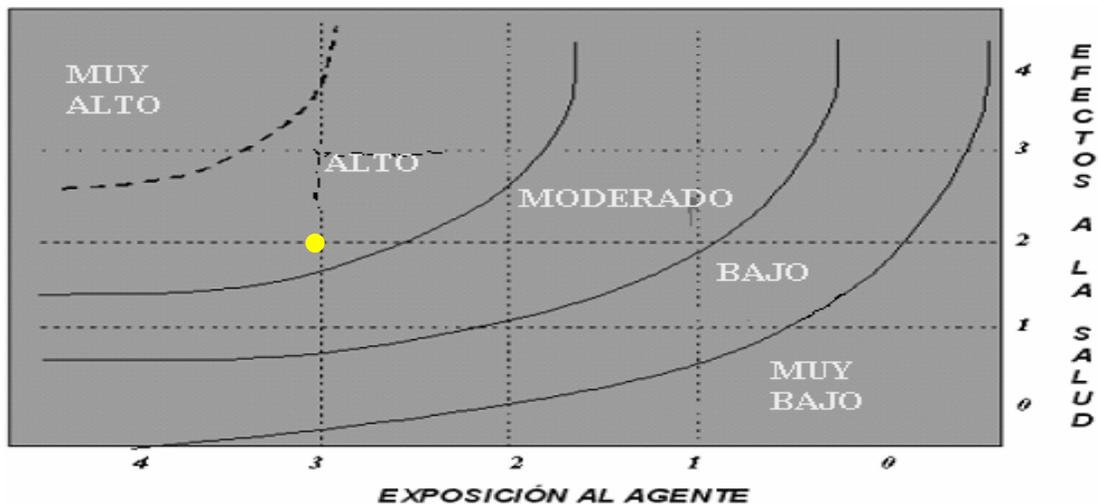
**FIGURA 4.8.** Efectos sobre la salud a causa del nivel de exposición de los trabajadores en FCC.

El resultado obtenido en mayor porcentaje es el nivel de exposición 2 con un 76% de respaldo de los empleados encuestados, ese nivel sugiere un efecto sobre la salud severo pero reversible.



#### Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones

Con los resultados obtenidos a través de la guía para la identificación de peligros, evaluación y control de riesgo HO-H-02 de PDVSA, se realiza la intercepción de la categoría de exposición al catalizador con el nivel de efecto ala salud obtenidos, el nivel de riesgo obtenido fue alto, como se demuestra en la grafica de la figura 4.9



**Figura 4.9.** Nivel de riesgo al que están expuestos los trabajadores de FCC. [19]

La guía de higiene ocupacional de PDVSA [20] determinó unas medidas para niveles alto de riesgo: “Deben tomarse acciones en el menor tiempo posible. Se debe proceder a la brevedad a cuantificar el agente de peligro (en este caso el catalizador). Una vez conocido el nivel del agente, se debe establecer medidas de control e implantar programas de prevención y control para el nivel de riesgo en consideración”. Las medidas a tomar para cada nivel de riesgo se muestran en el anexo 9.

Además la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT), en su artículo 53 establece los derechos de los trabajadores en las empresas de:

- Ser informados al inicio de sus actividades de las condiciones en que está se va a desarrollar.
- Recibir información teórica y práctica en la prevención de accidentes de trabajo y enfermedades ocupacionales.
- Rehusarse a trabajar a interrumpir una tarea o actividad, cuando exista un peligro inminente que ponga en riesgo su vida.
- Denunciar condiciones inseguras o insalubres de trabajo.
- Ser reubicados de sus puestos de trabajo o a la adecuación de sus yareas por razones de salud rehabilitación o reinserción laboral
- Que se le realicen periódicamente exámenes de salud preventivos. [21]



#### Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones

### 4.3. Medición de las concentraciones de polvo total y respirable en el área de transferencia de catalizador en la planta FCC

Los valores de las concentraciones obtenidas fueron comparadas con la concentración de 3 mg/m<sup>3</sup> para polvo total establecidos por la norma COVENIN 2253: Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición. [19]. Se debió realizar un mayor número de muestras, pero no se contó con la cantidad de filtros suficientes y el tiempo de uso de los equipos era limitado.

Durante el horario en el que se realizó cada muestreo se observó las actividades desarrolladas por los trabajadores. Lo que permitió determinar las causas que originan que algunas concentraciones sobrepasen el límite establecido por la norma, esto ocurrió con las muestras recolectadas el día 12/03/09, los resultados de todo el muestreo ambiental se muestran en la tabla 4.4. mostrándose que en horas de 08:06am a 10:06am la concentración obtenida fue de 5,38 mg/m<sup>3</sup> tomada del filtro 22, lo cual se debe a que a partir de la 10:00am se da inicio a la transferencia de catalizador de la tolva F-8A a la tolva F.8, que es una de las zonas críticas de emisiones; de igual forma ocurrió con la concentración obtenida ese mismo día en horas de 02:32pm a 04:32pm de 22,3 mg/m<sup>3</sup>, durante este intervalo de tiempo seguía aun la transferencia de catalizador y simultáneamente a las 03:00pm se inició el retiro de catalizador gastado de la tolva F-1 al camión recolector, elevando la concentración ambiental por encima del 100 % de lo establecido por la norma. Tabla 4.2

**TABLA 4.2.** Valores máximos de concentración para polvo ambiental y personal

	Límite de concentración establecido por la norma COVENIN 2253 en mg/m <sup>3</sup>
polvo ambiental	3

El día 13/03/09, se presentó un inconveniente con la tapa de la tolva F-8, a las 05:35pm lo cual liberó un flujo de emisiones dentro de la zona, arrojando una concentración de 6,92 mg/m<sup>3</sup> tomada de 04:16 pm a 06:16pm. Tabla 4.3

**TABLA 4.3.** Valores de concentración, que superan lo establecido por la norma COVENIN 2253.

Filtro	Hora inicial de muestreo	Hora final de muestreo	concentraciones (mg/m <sup>3</sup> )	fecha	Ubicación de la muestra
22	08:06am	10:06am	5,38	12/03/09	Tolva
27	02:32pm	04:32pm	22,3	12/03/09	
35	04:16pm	06:16pm	6,92	13/03/09	
42	11:13am	01:13pm	4,62	17/03/09	

**TABLA 4.4.** Horario, tiempo y fecha durante la cual se desarrolló el muestreo.



### Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones

Nº de filtro	Ubicación de la muestra	Hora inicial de muestreo	Hora final de muestreo	Tiempo de muestreo (horas)	Fecha	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )
1	Operador 2°	09:00am	11:00am	2	11/03/09	1,96
2	Operador 1°	09:20am	11:20am	2		0,98
3	Tolva	09:45am	11:45am	2		0,77
4	Caseta	09:55am	11:55am	2		1,54
5	Operador 1°	11:10am	01:10pm	2		0,49
6	Operador 2°	11:20am	01:20pm	2		1,96
7	Tolva	11:47am	01:47pm	2		0,77
8	Caseta	11:56am	01:56pm	2		0
9	Caseta	02:10pm	04:10pm	2		0
10	Tolva	02:15pm	04:15pm	2		0
11	Operador 2°	02:57pm	04:57pm	2		0
12	Operador 1°	03:05pm	05:05pm	2		2,45
13	Caseta	04:11pm	06:11pm	2		0
14	Tolva	04:17pm	06:17pm	2		0,77
15	Operador 2°	04:58pm	06:58pm	2		0,49
16	Operador 1°	05:05pm	07:05pm	2		0
17	Caseta	10:01am	12:02m	2	12/03/09	0
18	Tolva	10:07am	12:07m	2		0
19	Operador 1°	10:05am	12:05m	2		0
20	Operador 2°	10:03am	12:03m	2		0,49
21	Caseta	08:00am	10:00am	2		0
22	Tolva	08:06am	10:06am	2		5,38
23	Operador 2°	08:02am	10:02am	2		0,49
24	Operador 1°	08:04am	10:04am	2		1,47
25	Operador 2°	02:28pm	04:28pm	2		6,37
26	Operador 1°	02:30pm	04:30pm	2		1,96
27	Tolva	02:32pm	04:32pm	2		22,3
28	Operador 2°	04:28pm	06:28pm	2		22,1
29	Operador 1°	04:31pm	06:31pm	2		0
30	Tolva	04:33pm	06:33pm	2		0,77
31	Operador 2°	02:18pm	04:18pm	2	13/03/09	0,49
32	Operador 1°	02:20pm	04:20pm	2		0,49
33	Tolva	02:15pm	04:15pm	2		0
34	Operador 2°	04:19pm	06:19pm	2		0,49
35	Tolva	04:16pm	06:16pm	2		6,92
36	Operador 1°	04:21pm	06:21pm	2		0,98
37	Operador 1°	09:10am	11:10am	2	17/03/09	0,49
38	Operador 2°	09:09am	11:09am	2		0,98
39	Operador 1°	11:10am	01:10pm	2		1,47
40	Operador 2°	11:10am	01:10pm	2		2,94
41	Tolva	09:12am	11:12am	2		2,31
42	Tolva	11:13am	01:13pm	2		4,62

El día 17/03/09 se obtuvo una elevación de las concentraciones por encima del límite establecido en el horario de 11:13am a 01:13pm, con un valor de 4,62 mg/m<sup>3</sup>. Tabla



#### **Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones**

4.3. La fuente principal de emisiones de catalizador es el sistema de transferencia de la tolva F-8A a la tolva F-8, presentando un riesgo para la salud para los empleados, ya que las concentraciones se encuentran en el ambiente de la planta que es frecuentado por los empleados de la misma y también por personal de servicios técnicos, seguridad, operaciones y demás departamentos involucrados. El horario y fecha de cada muestreo de señala en la tabla 4.4

#### **4.4 Determinación del personal que, de acuerdo a la norma COVENIN 2253, esta ocupacionalmente expuesto**

Con lo demostrado en el análisis y comparación de las concentraciones obtenidas en el muestreo de polvos inhalables con  $10 \text{ mg/m}^3$  que establece la norma COVENIN 2253 [19] y avalado por el análisis de riesgo realizados, donde se estudió el nivel de exposición de acuerdo al cargo ocupado, se determinó que el personal ocupacionalmente expuesto es principalmente el operador de segunda, porque éste desarrolla directamente todas las actividades referentes a la transferencia de catalizador fresco y retiro de catalizador gastado, dentro del personal expuesto también está el operador de tercera que cumple la función de asistir y respaldar al operador de segunda en todas sus actividades.

El operador de primera y el técnico desarrollan sus labores la mayor parte del tiempo dentro de la caseta y supervisan las labores realizadas por el operador de segunda y tercera esporádicamente, pero no se puede descartar que estén expuestos, ya que este estudio no es lo suficientemente amplio para cubrir un muestreo en todo el personal.

**TABLA 4.6.** Valores máximos de concentración para polvo ambiental y personal

	<b>Límite de concentración establecido por la norma COVENIN 2253 en <math>\text{mg/m}^3</math></b>
<b>Polvo respirable</b>	10

Las concentraciones ambientales obtenidas dentro de la caseta dieron valores muy por debajo de los establecidos por la norma COVENIN. Tabla 4.6. El consolista, como su nombre lo indica desarrolla su jornada laboral en la consola de operación de la planta, en un ambiente cerrado y un poco más retirado de las operaciones de transferencia en la planta.

El día 12/03/09 el muestreo personal al operador de segunda durante la transferencia de catalizador arrojó un valor de  $22,1 \text{ mg/m}^3$  (tabla 4.7) por encima del límite que dicta la norma COVENIN 2253, demostrando que las transferencias de catalizador fresco son el principal foco de emisión. Además la chimenea del reactor continuamente está liberando emisiones de catalizador gastado.

**TABLA 4.7.** Valores de concentración, que superan el valor lo establecido por la norma COVENIN 2253.



#### Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones

Filtro	Hora inicial de muestreo	Hora final de muestreo	concentraciones (mg/m <sup>3</sup> )	fecha	Ubicación de la muestra
28	04:28pm	06:28pm	22,1	12/03/09	Operador 2°

#### 4.5 Proposición de las medidas de control necesarias para la reducción de las emisiones y/o la exposición de los trabajadores a polvos de catalizador, hasta valores de referencia aceptables dentro de los Niveles Técnicos de Referencia de Exposición (NTRE)

Desde el punto de vista operacional se presentan a continuación, propuestas para los cuatros puntos determinados críticos, como resultado de la evaluación del sistema de transferencia.

##### **Primer punto: tolva de almacenamiento de catalizador F-8A, dispuesta para recibir fresco a la planta**

El principal problema en este punto son las válvulas desgastadas, se propone el cambio de todas las válvulas de compuerta del sistema por válvulas tipo mariposa para evitar que se pueda devolver el catalizador transportado y las fugas por las mismas, también se debe cambiar la manguera usada para el llenado de la tolva por estar deteriorada, por una nueva o en mejor estado.

##### **Segundo punto: sistema de transferencia de catalizador fresco de la tolva F-8A a la tolva F-8**

Este sistema se realiza a través de la succión con vapor de agua, que genera a la salida de la caja recolectora una masa de catalizador y vapor de agua producto de la condensación que sufre por el cambio de temperatura, lo cual dificulta la selección de un sistema de recolección de polvos, porque se trata de catalizador fresco y es necesario recuperarlo conservando sus condiciones físicas y químicas, para ser recirculado al sistema.

En vista de lo expuesto se propone cambiar el sistema de succión con vapor de agua, por un sistema de soplado de aire, lo que garantiza la recuperación del catalizador. También es necesario emplear un filtro de tela de limpieza vibratoria, a la salida del silenciador J-10, para la retención de partículas de polvos porque son de materiales porosos a través de los cuales se hace pasar una corriente gaseosa cargada de partículas, que quedarán retenidas en el filtro. El tamaño de poro debe ser bastante grande en relación con las partículas que se quieren eliminar, el poder de filtración radica en la acumulación de partículas en la superficie del filtro, que forma una torta que colabora fuertemente en el poder de retención de partículas. Alcanzado cierto límite de volumen de las tortas, la pérdida de presión es elevada, el sistema de limpieza es vibratorio, lo que no impide el funcionamiento continuo del sistema. Este tipo de equipos pueden conseguir rendimientos mayores del 99% independientemente de las características de la masa de aire.



#### *Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones*

Este dispositivo hace posible la separación de partículas de un tamaño del orden de 0,01 micras, que está por debajo del tamaño de partículas de polvos de catalizador que es de 0 a 80 micras. El aire cargado de partículas pasa a lo largo del área de la tela y luego a través de la tela. Las partículas son retenidas en la cara de las bolsas corriente arriba y el flujo de aire limpio es ventilado hacia la atmósfera. La mayor parte de la energía utilizada para operar el sistema es la caída de presión a través de las bolsas, y de las partes y conductos asociados. Los valores típicos de la caída de presión del sistema varía desde cerca de 120 hasta 500 milímetros de agua. Las variables importantes del proceso incluyen las características de la partícula, las características del gas y las propiedades de la tela. El parámetro de diseño más importante es la relación aire a tela (el flujo volumétrico de de aire en relación con la superficie de tela), y el parámetro de operación de interés es la caída de presión a través del sistema de filtro.

El tipo de material de la tela debe ser nylon, ya que es resistente a las vibraciones que debe realizar el filtro en la fase de limpieza, y puede resistir temperaturas hasta los 93 °C, rango suficiente porque el flujo de aire apara movilizar el catalizador y el catalizador poseen temperatura ambiente. Las bolsas ovaladas o redondas que se utilizan en las unidades estándar suelen tener 12 y 20 cm de diámetro y 2,5 a 5 m de largo.

Los filtros con limpieza, mediante vibración, se hacen vibrar de ¼ a 8 horas, dependiendo del tipo de operación. Es aconsejable que sea un filtro automático que provoca sacudidas con una frecuencia de 2 minutos. Es necesario que el flujo de aire a través del filtro se detenga durante la limpieza. Estos equipos trabajan con velocidades de filtración entre 0,3 y 2,5 m/min y caídas de presión de 0,5 a 1,5 kpa

A continuación se muestran los pasos para el diseño del filtro de bolsa:

- ✓ Primero, la caída de presión promedio debe ser especificada junto con la velocidad de flujo de gas total
- ✓ Segundo, se supone una velocidad superficial y el número de compartimientos en la casa de bolsas es calculado basándose en el flujo de gas total, la velocidad superficial (relación flujo de aire-tela), el tamaño de la bolsa, y el número de bolsas por compartimiento. La práctica estándar es diseñar un filtro de bolsa para alcanzar la caída de presión especificada cuando un compartimiento se encuentra fuera de línea para su mantenimiento.
- ✓ El tercer paso es especificar las características de operación del filtro de tela (o sea, el período de filtración, el periodo de limpieza).
- ✓ Cuarto, especificar la eficiencia de limpieza para que la carga residual de polvo pueda ser estimada.
- ✓ Finalmente, el diseño de filtro de tela especificado se usa para establecer los detalles para las ecuaciones de caída de presión y velocidad promedio, los que enseguida son resueltos numéricamente para establecer la caída de presión como función del tiempo. La caída de presión es calculada a continuación integrando la caída de presión instantánea durante el ciclo de filtración y dividiendo entre el tiempo del ciclo. Si el



#### Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones

promedio calculado es más alto que la especificación de diseño, la velocidad superficial debe ser reducida y se debe repetir el procedimiento. Si la caída de presión promedio calculada es significativamente más baja que la especificación de diseño, la casa de bolsas propuesta se sobrepasará de tamaño, aumentando la velocidad superficial y repitiendo el procedimiento. Cuando el promedio calculado se acerca lo suficiente al valor especificado supuesto, se ha determinado el diseño.[22]:

Caída de presión con en función de la velocidad superficial (relación flujo de aire-tela):

$$\Delta P(\theta) = S_{sistema}(\theta) V_{f (promedio)} \quad (\text{Ec 4.1})$$

$\Delta P(\theta)$ : caída de presión a través del filtro en función del tiempo (mmH<sub>2</sub>O)  
 $V_{f (promedio)}$ : velocidad superficial promedio (m/s)

$$V_{promedio} = \frac{\sum_i \sum_j V_{i,j}(\theta)}{M} \quad (\text{Ec 4.2})$$

$V_{ij}(\theta)$ : velocidad superficial a través del área j del compartimiento i (m/s)  
 $S_{sistema}(\theta)$ : arrastre del sistema en función del tiempo [mmH<sub>2</sub>O/ (m/s)]. Éste parámetro es función de la cantidad de polvo recolectado sobre las bolsas.

$$S_{sistema}(\theta) = \left[ \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{1}{S_i(\theta)} \right]^{-1} \quad (\text{Ec 4.3})$$

$$S_i(\theta) = \frac{N}{\sum \frac{1}{S_{i,j}(\theta)}} \quad (\text{Ec 4.4})$$

$$S_{i,j}(\theta) = S_e + K_2 W_{i,j}(\theta) \quad (\text{Ec 4.5})$$



#### Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones

- $S_e$ : arrastre de una bolsa de filtración libre de polvo  
 $K_2$ : resistencia de la torta al flujo {[mmH<sub>2</sub>O/ (m/s)]/ (g/m<sup>2</sup>)}  
 $N$ : número de superficies de igual tamaño dentro del compartimiento i  
 $M$ : número de compartimentos  
 $W_{ij}(\theta)$ : masa de polvo por unidad superficial j en el compartimiento i (g/m<sup>2</sup>).  
 $W_r$ : masa de polvo que resta sobre la superficie de la tela tras la limpieza (g/m<sup>2</sup>)  
 $C_{in}$ : concentración de polvo en el gas de entrada (g/m<sup>3</sup>).

$$W_{i,j}(\theta) = W_r + \int_0^\theta C_{in} V_{i,j}(\theta) d\theta \quad (\text{Ec 4.6})$$

La relación flujo de aire-tela y la pérdida de presión no están directamente relacionados, con lo que para resolver las ecuaciones hay que empezar con un objetivo conocido y realizar ensayos de prueba y error: para la caída de presión promedio, proponer un diseño de casa de bolsas (número de compartimentos, duración del período de filtración, etc.), suponer una velocidad superficial que produzca esa caída de presión y resuelva el sistema de ecuaciones de caída de presión y velocidad promedio para verificar que la caída de presión calculada es igual a la caída de presión fijada como objetivo. Si no resulta así, repítase el procedimiento con parámetros nuevos hasta que la velocidad produzca una caída de presión promedio que sea suficientemente cercana a la especificación de diseño. Alternativa para el cálculo de caída de presión máxima. [22]:

$$\Delta P = S_e V + K_2 C_{in} V^2 \theta \quad (\text{Ec 4.7})$$

- $S_e$ : arrastre de una bolsa de filtración libre de polvo  
 $K_2$ : resistencia de la torta al flujo {[mmH<sub>2</sub>O/(m/s)]/(g/m<sup>2</sup>)}  
 $C_{in}$ : concentración de polvo en el gas de entrada (g/m<sup>3</sup>)  
 $\theta$ : tiempo de filtración

#### Tercer punto: retiro de catalizador gastado de la tolva F-1

En este punto la solución es un poco más sencilla, ya que para descargar el catalizador gastado de la tolva F-1 se realiza con una manguera de diámetro mucho menor al orificio de llenado del camión, este traslado se realiza por soplado de aire lo cual genera una velocidad



#### Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones

de salida apreciable que hace que gran parte del catalizador gastado transferido se escape a la atmósfera, para este caso se recomienda utilizar una manguera de diámetro suficiente para abarcar el orificio de entrada al camión y que el personal encargado de realizar esta transferencia, generalmente el operador de segunda, se sugiere sean dotados de los implementos de seguridad necesarios como: tapa bocas, lentes, tapa oídos, vitales en el manejo de polvos.

#### Cuarto punto: chimenea del convertidor

Por la chimenea del convertidor se libera catalizador de equilibrio y gases de combustión, por lo cual no es imperativo aplicar un método que asegure la integridad del catalizador, porque es un material de desecho.

Las pérdidas de catalizador por la chimenea del reactor tienen un promedio de más de 1,5 toneladas diarias como se muestra en la tabla 4.8, para recolectar este material se recomienda multiciclones.

**TABLA 4.8.** Pérdidas de catalizador en el reactor

MES	Pérdidas de catalizador total	Pérdidas de catalizador por chimenea	Pérdidas de catalizador en aceites
	Ton/día	Ton/día	Ton/día
ene-08	2,9656	2,4780	0,4876
feb-08	1,2975	0,9924	0,3052
mar-08	2,0536	1,7100	0,3436
abr-08	1,774	1,271	0,503
may-08	1,914	1,513	0,401
jun-08	1,279	0,665	0,614
jul-08	1,578	1,063	0,515
ago-08	2,437	2,077	0,360
sep-08	4,467	3,764	0,703
ene-09	1,158	0,704	0,454
feb-09	1,092	0,689	0,403
mar-09	1,928	1,465	0,462
abr-09	2,611	1,526	1,085
		Promedio=1,5322	

Los factores que se deben considerar para diseñar los multiciclones es la caída de presión, el patrón de flujo dibuja una espiral donde su velocidad sufre una redistribución de tal modo que la componente tangencial de la velocidad aumenta al reducirse el radio.

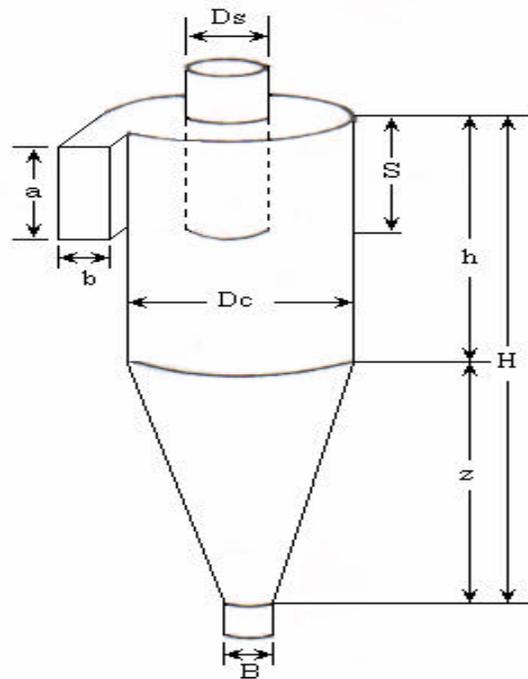


FIGURA 4.10. Dimensiones del ciclón. [10]

La eficiencia de captación, se puede obtener a través de los siguientes pasos mediante la presente correlación en la figura 4.11

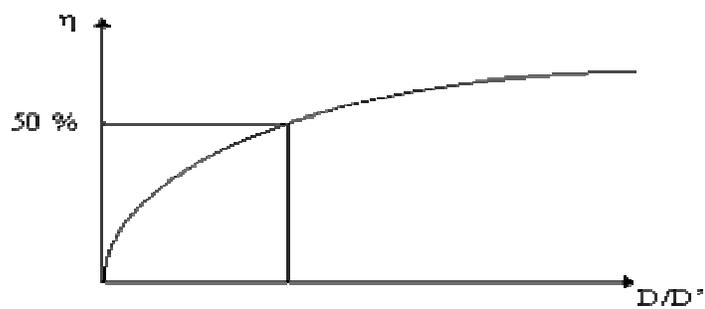


FIGURA 4.11. Correlación para determinar la eficiencia de un ciclón. [22]

$\eta$  = eficiencia de selección

$D'$  = diámetro de partícula teórico que un ciclón es capaz de eliminar

En la práctica lo que se especifica en un proyecto es la eficiencia de separación deseada para partículas de un determinado tamaño.

$D$  = diámetro de la partícula.



#### Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones

Relación empírica de Rossin, Rammler e Intelmann en la ecuación 4.8, para determinar el diámetro teórico de partícula. [22]:

$$D' = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu \cdot B}{2 \cdot \pi \cdot N \cdot v \cdot (\rho_s - \rho)}} \quad (\text{Ec 4.8})$$

B = largo del ducto de entrada al ciclón;

N = número de vueltas dadas por el gas en el interior del ciclón

v = velocidad de entrada del gas al ciclón basada en un área.

m = viscosidad del gas.

$\rho$  = densidad del gas.

$\rho_s$  = densidad del sólido.

#### 4.6 Conclusiones

1. De los sistemas involucrados en la transferencia de catalizador, lo crítico en emisiones son el sistema de almacenamiento y el sistema de reacción.
2. Las zonas afectadas por las emisiones de catalizador fueron la zonas de almacenamiento principalmente la transferencia de catalizador fresco de la tolva F8-A a la tolva F-8 y el retiro de catalizador gastado; y la zona de reacción, que expulsa catalizador y gases de combustión producto de la regeneración del catalizador gastado, a través de la chimenea.
3. El nivel de riesgo de exposición a polvos de catalizador en las instalaciones y puestos de trabajo en la planta, fue alto de acuerdo con la “Guía para la identificación de peligros, evaluación y control de riesgo: HO-H-02” de PDVSA.
4. Los valores de las concentraciones ambientales obtenidas están dentro los límites establecidos por la norma COVENIN 2253, excepto las recolectadas durante las operaciones de transferencias de catalizador en el sistema de almacenamiento.
5. El personal se encuentra ocupacionalmente expuesto durante las actividades realizadas con el catalizador, porque los valores de las concentraciones obtenidas durante las mismas pasan los límites de las normas COVENIN 2253.
6. Las medidas necesarias para la disminución de emisiones de polvos propuestas fueron, filtro de tela, ciclón, válvulas mariposa y sopladores de aire.



## *Capítulo IV. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones*

---

### **4.7 Recomendaciones**

1. Dotar al personal que labora en la planta de los implementos de seguridad necesarios contra polvos, lentes de seguridad, tapa bocas, tapa oídos y guantes.
2. Crear un plan de supervisión que asegure el uso y adquisición de los implementos de seguridad necesarios para trabajos con polvos.
3. Informar al personal de los riesgos a los que se está expuesto al estar en contacto con polvos de catalizador, a través de charlas al personal.
4. Extender el estudio a las plantas adyacentes, o extender el radio investigación para determinar con exactitud el límite de alcance de riesgo.
5. Realizar estudios médicos periódicos a las vías respiratorias y análisis de sangre a los empleados de la planta.
6. Extender el muestreo de polvos a todo el personal en la planta.
7. Emplear los equipos de recolección señalados en el menor tiempo posible.
8. Rotar a los empleados a otras plantas.
9. Realizar monitoreos continuos de las concentraciones de polvos en la planta.
10. Cambiar la manguera empleada para trasvasar el catalizador gastado de la tolva F-1 al camión por una de mayor diámetro.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Paredes, J. **“Efectos de las partículas de polvo en el organismo”**. Tesis de grado de Ing. Química. UNIVALLE - Cali. (1980).
2. Díaz, B. **“Evaluación del sistema de regeneración catalítica fluidizada, con respecto a la conversión obtenida”**. Tesis de grado de Ing. Química. Universidad de Los Andes, Mérida. (2001).
3. Suárez, S. **“Diseño de un sistema móvil de extracción de polvo generado durante el proceso de arenado”**. Tesis de grado de Ing. Mecánica. Escuela Superior Politécnica del Litoral de Ecuador, Quito. (2008).
4. García, A. **“Diseño de una planta de adecuación ambiental para el control de emisiones atmosféricas de la planta conductores de aluminio del carona (CABELUM)”**. Tesis de grado de Ing. Química. Universidad de Oriente, Anzoátegui. (2003).
5. Lara, P. **“Reducción de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en una empresa ensambladora de vehículos”**. Tesis de grado de Ing. Química. Universidad de Oriente, Anzoátegui. (2001).
6. Buonaffina, I. **“Análisis de las emisiones de BTEX en plantas de endulzamiento con aminas y deshidratación con trietilenglicol ”**. Tesis de grado de Ing. Química. Universidad de Oriente, Anzoátegui. (2007).
7. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. NTP 21. **“Toma de Muestras de Polvo Inerte o Molesto”**. USA. (1982).
8. Falagán, M. **“Manual básico de prevención de riesgos laborales: higiene industrial, seguridad y ergonomía”**. Sociedad Asturiana de Medicina y Seguridad en el Trabajo y Fundación Médicos Asturias. (2000).
9. Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). 2252. **“Polvos. Determinación de la concentración en el ambiente de trabajo.”** Caracas. (1998).



## *Bibliografía*

10. Perry, R y Green D. **“Manual del ingeniero químico”**. Séptima edición. Editorial McGraw-Hill. España (2001).
11. Danielson, J. **“Air pollution engineering manual”**. Segunda edición. Editorial U.S. Environmental Protection Agency. Los Angeles USA(1973).
12. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **“Industrial ventilation”**. Décima Sexta edición. Editorial Michigan (1980).
13. Grimm, N. y Rosaler, R. **“Manual de diseño de calefacción y ventilación”**. Editorial McGraw-Hill. España (1996).
14. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España. **“Fichas de seguridad”**. España. (1994).
15. PDVSA. **“Libro de la Refinería Puerto La Cruz”**. Puerto La Cruz. (2006).
16. PDVSA. Manual de Higiene Ocupacional HO-H-02: **“Guía para la identificación de peligros, evaluación y control de riesgos”**. Puerto La Cruz. (1983).
17. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene Ocupacional de los Estados Unidos de América (INSHT) 0500: **“Determinación de las concentraciones de polvos totales”**. USA. (1998).
18. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene Ocupacional de los Estados Unidos de América (INSHT) 0600: **“Determinación de las concentraciones de polvos respirables”**. USA. (1994).
19. Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). 2253. **“Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índice biológico de exposición”**. Caracas. (2001).
20. PDVSA. **“Manual de higiene ocupacional.”** Puerto La Cruz. (2007).
21. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. **“Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT)”**. Caracas. (2005).
22. Benítez, J. **“Process engineering and design for air pollution control.”** Prentice Hall. New Jersey, (1993).



---

*Bibliografía*

---

23. National Institute for Occupational Safety and Health. “**Guía de protección respiratoria.**” USA. (1987).
24. Hernandez, R. “**Metodología de la investigación**”. Editorial McGraw-Hill. (1991).España.

**ANEXOS**  
**NORMAS Y FICHAS DE SEGURIDAD UTILIZADAS**



## ANEXO A.1. Hoja de seguridad del catalizador de FCC, Endurance™

**BASF - The Chemical Company** 10/05/06  
**Material Safety Data Sheet: Endurance™,**

### 1. CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

**Common Name:** Clay Processed For Catalyzing Purposes, Processed Clay, Synthetic Clay  
**Product Use:** Petroleum catalyst.

### 2. COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS

Ingredient CAS Number	Weight in Percent (%)	Notes
Silica 7631-86-9	0-25	None.
Magnesium Oxide 1309-48-4	0-9	None.
Rare Earth Oxide	0-9	None.
Calcium Oxide 1305-78-8	0-5	None.
Phosphorus Compound	0-4	None.
Aluminum Oxide 1344-28-1	0-25	None.
Kaolin 1332-58-7	20-80	*Naturally occurring chemical substance per TSCA, 40 CFR 710.4(b).

### 3. HAZARDS IDENTIFICATION

**Color:** White

**Form:** Powder

**Odor:** Odorless

**Flash Point, °C:** Nonflammable

**Most Important Hazards:** 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.

**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.



## ANEXO A.2. Ficha de seguridad del Caolín. [11]

### **Scharlau Chemie FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD - MSDS**

#### **1. Identificación de la sustancia o del preparado y de la sociedad o empresa**

##### **Identificación de la sustancia o del preparado:**

Referencia del producto: KA0100

Denominación del producto: Caolín, pesado, polvo, Ph Eur, BP

##### **Uso de la sustancia o el preparado:**

pinturas, en la industria de las porcelanas, plastificante, fabricación de adhesivos, en fibras de vidrio, en la industria de las gomas.

##### **Identificación de la sociedad o empresa:**

###### **Empresa:**

Scharlau Chemie, S.A.  
Ctra. Polinyà-Sentmenat Km. 8,2  
08181 Sentmenat (Barcelona) ESPAÑA  
Tel: +34 - 93 715 18 11 - FAX +34 - 93 715 31 75  
email: info@scharlau.com  
Internet Web Site: www.scharlau.com

###### **Representante regional:**

Scharlab, S.L.  
Gato Pérez, 33. Pol. Ind. Mas d'en Cisa  
08181 Sentmenat (Barcelona) ESPAÑA  
Tel: +34-93 715 19 39 - FAX +34-93 715 27 65  
email: scharlab@scharlab.com  
Internet Web Site: www.scharlab.com

###### **Teléfono de urgencias:**

Instituto Nacional de Toxicología de Madrid. Tel: +34 - 91 562 04 20

#### **2. Composición/información sobre los componentes**

Descripción: Producto natural, de composición variable.

#### **3. Identificación de peligros**

Peligros que presenta la sustancia según las directivas europeas:

Producto no peligroso de acuerdo con la Directiva del Consejo 67/548/CEE.

#### **4. Primeros auxilios**

Tras inhalación: Tomar aire fresco. Avisar al médico si fuera necesario.

Tras contacto con la piel: lavar con agua.

Tras ingestión: (grandes cantidades): Llamar al médico si prosigue el malestar.

Tras contacto con los ojos: aclarar con agua.

#### **5. Medidas de lucha contra incendios**

Medios de extinción adecuados: Adecuados a las condiciones del medio ambiente.

Riesgos especiales particulares: Incombustible

En caso de incendio puede formarse: dióxido de carbono, monóxido de carbono.

#### **6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental**

Precauciones individuales: Procurar no inhalar polvo.

Procedimientos de limpieza: Recooger en seco y eliminar los residuos. Aclarar. Intentar que no se forme polvo.



## ANEXO A.3. Ficha de seguridad del oxido de magnesio. [11]

			
OXIDO DE MAGNESIO Magnesia calcinada Magnesia (polvo) MgO Masa molecular: 40.3			
Nº CAS 1309-48-4 Nº RTECS OM <sup>3</sup> 850000 Nº ICSC 0504			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible.	NO poner en contacto con halógenos o ácidos fuertes.	En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION			
EXPOSICION			
• INHALACION	Tos, sudoración, (véanse Notas).	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
• PIEL			Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
• OJOS	Enrojecimiento.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
• INGESTION	Diarrea.		Enjuagar la boca con agua y beber agua.
DERRAMAS Y FUGAS		ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente, eliminarlo a continuación con agua abundante. (Protección personal adicional: respirador de filtro P1 para partículas inertes).		Separado de oxidantes fuertes, ácidos fuertes.	
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0504		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	



## ANEXO A.4. Ficha de seguridad del oxido de aluminio. [11]

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION			
EXPOSICION		¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO!	
• INHALACION	Tos.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
• PIEL			
• OJOS	Enrojecimiento.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION			
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente, eliminar el residuo con agua abundante. Barrer con cuidado para evitar la formación de polvo. (Protección personal adicional: respirador de filtro P1 contra partículas inertes).			
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0351	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994		



## ANEXO A.5. Ficha de seguridad del óxido de calcio. [11]

			
<b>OXIDO DE CALCIO</b> Cal CaO Masa molecular: 56.1			
Nº CAS 1305-78-8 Nº RTECS EW3100000 Nº ICSC 0409 Nº NU 1910			
			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION			Los bomberos deberían emplear indumentaria de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración.
EXPOSICION		¡EVITAR LA PRODUCCION DE NIEBLAS!	
• INHALACION	Sensación de quemazón de nariz y garganta, tos, jadeo.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y someter a atención médica.
• PIEL	Enrojecimiento, quemaduras cutáneas, sensación de quemazón, dolor.	Guantes protectores, traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y solicitar atención médica.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor, visión borrosa.	Gafas ajustadas de seguridad o pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
• INGESTION	Calambres abdominales, dolor abdominal, sensación de quemazón en la boca, garganta y esófago, diarrea, vómitos, colapso.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. NO dar nada de beber y someter a atención médica.
DERRAMAS Y FUGAS		ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente seco y después limpiar la zona con descarga abundante de agua. (Protección personal adicional: respirador de filtro P2 para partículas nocivas).		Separado de alimentos y piensos; separado de ácidos. Mantener en lugar seco.	Hermético. NO transportar con alimentos y piensos. Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: III



## ANEXO A.6. Norma para la determinación de polvos totales NSHT 0500. [14]

PARTICULATES NOT OTHERWISE REGULATED, TOTAL		0500
DEFINITION: total aerosol mass		CAS: NONE RTECS: NONE
METHOD: 0500, Issue 2	EVALUATION: FULL	Issue 1: 15 February 1984 Issue 2: 15 August 1984
OSHA : 15 mg/m <sup>3</sup> NIOSH: no REL ACGIH: 10 mg/m <sup>3</sup> , total dust less than 1% quartz	PROPERTIES: contains no asbestos and quartz less than 1%	
SYNONYMS: nuisance dusts; particulates not otherwise classified		
SAMPLING		MEASUREMENT
SAMPLER:	FILTER (lined 37-mm, 5- $\mu$ m PVC filter)	TECHNIQUE: GRAVIMETRIC (FILTER WEIGHT)
FLOW RATE:	1 to 2 L/min	ANALYTE: airborne particulate material
VOL-MIN:	7 L @ 15 mg/m <sup>3</sup>	BALANCE: 0.001 mg sensitivity; use same balance before and after sample collection
-MAX:	133 L @ 15 mg/m <sup>3</sup>	CALIBRATION: National Institute of Standards and Technology Class S-1.1 weights or ASTM Class 1 weights
SHIPMENT:	routine	RANGE: 0.1 to 2 mg per sample
SAMPLE STABILITY:	Indefinitely	ESTIMATED LOD: 0.03 mg per sample
BLANKS:	2 to 10 field blanks per set	PRECISION ( $\bar{S}_p$ ): 0.028 [2]
BULK SAMPLE:	none required	
ACCURACY		
RANGE STUDIED:	8 to 25 mg/m <sup>3</sup>	
BIAS:	0.01%	
OVERALL PRECISION ( $\bar{S}_p$ ):	0.055 [1]	
ACCURACY:	$\pm$ 11.04%	
APPLICABILITY: The working range is 1 to 20 mg/m <sup>3</sup> for a 100-L air sample. This method is nonspecific and determines the total dust concentration to which a worker is exposed. It may be applied, e.g., to gravimetric determination of fibrous glass [3] in addition to the other ACGIH particulates not otherwise regulated [4].		
INTERFERENCES: Organic and volatile particulate matter may be removed by dry ashing [3].		
OTHER METHODS: This method is similar to the criteria document method for fibrous glass [3] and Method 5000 for carbon black. This method replaces Method S349 [5]. Impingers and direct-reading instruments may be used to collect total dust samples, but these have limitations for personal sampling.		



**ANEXO A.7.** Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas. Norma COVENIN 2253. [16]

SUSTANCIAS	CAP		LEB	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
p-Nitroanilina. Piel	-	3 A4 IBE	-	-
Nitrobenzeno. Piel	1 A3 IBE	-	-	-
p-Nitrocrobenceno. Piel	0,1 A3 IBE	-	-	-
4-Nitrodifenilo. Piel	A2	-	A2	-
Nitroetano	100	-	-	-
Nitrógeno	C	-	-	-
Nitroglicerina. Piel	0,05	-	-	-
Nitrometano	20 A3	-	-	-
1-Nitropropano	25 A4	-	-	-
2-Nitropropano	10 A3	-	-	-
n-Nitrosodimetilamina . Piel	A3	-	A3	-
Nitrotolueno. Piel	2 IBE	-	-	-
Nitrodorometano, ver Cloropicrina				
Nonano, todos los isómeros	200	-	-	-
Octadecanonaftaleno. Piel	-	0,1	-	0,3
Oclano, todos los isómeros	300	-	-	-
Oxocloruro de fósforo	0,1	-	-	-
Óxido de Aluminio	-	10 A4 (1)	-	-
Óxido de boro	-	10	-	-
Óxido de calcio	-	2	-	-
Óxido de etileno	1 A2	-	-	-
Óxido de hierro, humos y polvos (como Fe)	-	5 A4 (1)	-	-
Óxido de magnesio, Humos	-	10	-	-
Óxido de mesilito	15	-	25	-
Óxido de propileno	2 S A3	-	-	-
Óxido de Zinc				
Humos	-	5	-	10
Polvos	-	10	-	-
Óxido nítrico	25 IBE	-	-	-
Óxido nitroso	50 A4	-	-	-
Ozono				
Trabajo pesado	0,05 A4	-	-	-
Trabajo moderado	0,08 A4	-	-	-
Trabajo liviano	0,10 A4	-	-	-
Trabajo de carga pesado, moderado o liviano (≤2 h)	0,20 A4	-	-	-
Parafina cera, Humos	-	2	-	-
Paraquat, fracción respirable	-	0,1 (4)	-	-
Polvo total	-	0,5	-	-
Partículas (insolubles) no clasificadas de otro modo				
Inhalables	-	10 (1) (3)	-	-
Respirables	-	3 (1) (4)	-	-
Paratión. Piel	-	0,1 A4 IBE	-	-
Pentaborano	0,005	-	0,015	-



### Norma COVENIN 2253

#### Definición de términos:

IBE: índice biológico de exposición.

CAP: concentración ambiental permisible.

( ): Valores propuestos a cambios.

T: valores techo.

(1): El valor es particulado inhalable (total) no contenido asbesto y con menos de 1% de sílice cristalina.

(2): fibras respirables de longitud mayor de 5 micrómetros con una relación igual o mayor de 3:1, determinados por el método de la membrana filtrante.

(3): fracción inhalable.

(4): este valor es para la fracción respirable.

(5): el valor es para polvo conteniendo menos de 5% de sílice cristalina

(6): sin embargo, no deberá exceder de 2 mg/m<sup>3</sup> de polvo respirable.



## ANEXO A.8. Norma para la determinación de polvos respirables NSHT 0600. [15]

### PARTICULATES NOT OTHERWISE REGULATED, RESPIRABLE 0600

DEFINITION: aerosol collected by sampler with 4- $\mu$ m median cut point      CAS: None      RTECS: None

METHOD: 0600, Issue 3      EVALUATION: FULL      Issue 1: 15 February 1984  
Issue 3: 15 January 1998

OSHA: 5 mg/m<sup>3</sup>      PROPERTIES: contains no asbestos and quartz less than 1%; penetrates non-ciliated portions of respiratory system  
NIOSH: no REL  
ACGIH: 3 mg/m<sup>3</sup>

SYNONYMS: nuisance dusts; particulates not otherwise classified

SAMPLING		MEASUREMENT	
<b>SAMPLER:</b>	CYCLONE + FILTER (10-mm nylon cyclone, Higgins-Dewell [HD] cyclone, or Aluminum cyclone + tared 5- $\mu$ m PVC membrane)	<b>TECHNIQUE:</b>	GRAVIMETRIC (FILTER WEIGHT)
<b>FLOW RATE:</b>	nylon cyclone: 1.7 L/min HD cyclone: 2.2 L/min Al cyclone: 2.5 L/min	<b>ANALYTE:</b>	mass of respirable dust fraction
<b>VOL-MIN:</b>	20 L @ 5 mg/m <sup>3</sup>	<b>BALANCE:</b>	0.001 mg sensitivity; use same balance before and after sample collection
<b>-MAX:</b>	400 L	<b>CALIBRATION:</b>	National Institute of Standards and Technology Class S-1.1 or ASTM Class 1 weights
<b>SHIPMENT:</b>	routine	<b>RANGE:</b>	0.1 to 2 mg per sample
<b>SAMPLE STABILITY:</b>	stable	<b>ESTIMATED LOD:</b>	0.03 mg per sample
<b>BLANKS:</b>	2 to 10 field blanks per set	<b>PRECISION:</b>	<10 $\mu$ g with 0.001 mg sensitivity balance; <70 $\mu$ g with 0.01 mg sensitivity balance [3]
ACCURACY			
<b>RANGE STUDIED:</b>	0.5 to 10 mg/m <sup>3</sup> (lab and field)		
<b>BIAS:</b>	dependent on dust size distribution [1]		
<b>OVERALL PRECISION (<math>\hat{S}_r</math>):</b>	dependent on size distribution [1,2]		
<b>ACCURACY:</b>	dependent on size distribution [1]		

**APPLICABILITY:** The working range is 0.5 to 10 mg/m<sup>3</sup> for a 200-L air sample. The method measures the mass concentration of any non-volatile respirable dust. In addition to inert dusts [4], the method has been recommended for respirable coal dust. The method is biased in light of the recently adopted international definition of respirable dust, e.g., +7% bias for non-diesel, coal mine dust [5].

**INTERFERENCES:** Larger than respirable particles (over 10  $\mu$ m) have been found in some cases by microscopic analysis of cyclone filters. Over-sized particles in samples are known to be caused by inverting the cyclone assembly. Heavy dust loadings, fibers, and water-saturated dusts also interfere with the cyclone's size-selective properties. The use of conductive samplers is recommended to minimize particle charge effects.

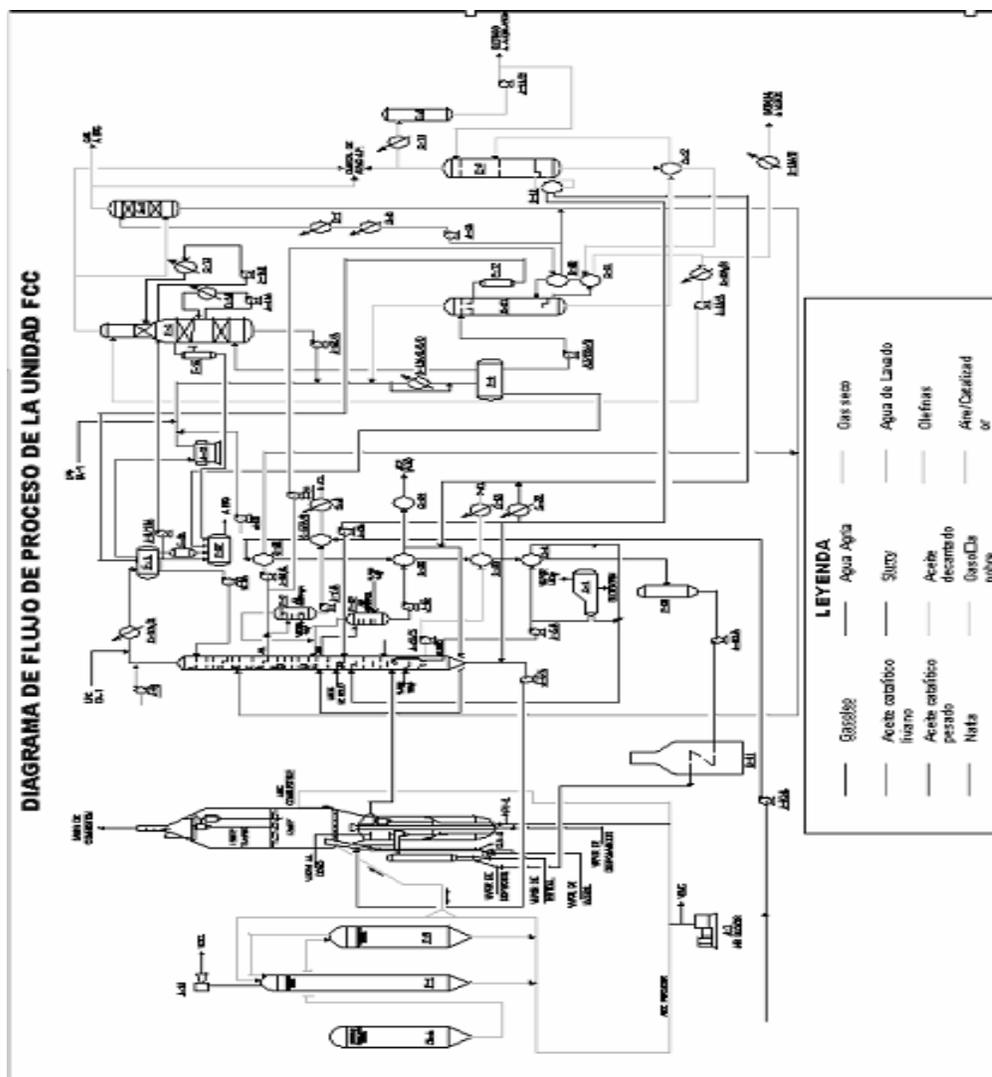
**OTHER METHODS:** This method is based on and replaces Sampling Data Sheet #29.02 [6].


**ANEXO A.9.** Descripción del nivel de riesgo y tipo de acción correspondiente. [13]

<b>RIESGO</b>	<b>TIPO DE ACCIÓN</b>
<b>MUY BAJO</b>	No se requiere una actuación específica.
	Por lo cual no se requiere de la implantación de programas específicos para prevención y control de riesgos.
	Aunque parece que la acción preventiva sea suficiente. Se deben realizar acciones económicas y a mediano plazo que reduzcan el nivel del riesgo.
<b>BAJO</b>	Se evaluarán los agentes de peligro una vez que se hayan cubierto los otros riesgos categorizados de mayor nivel.
	Se implantarán programas de prevención y control de riesgos específicos, una vez que se hayan cubierto los otros riesgos de mayor impacto.
	Se deben realizar acciones para reducir el riesgo, su implantación debe ser en un periodo determinado de tiempo.
<b>MODERADO</b>	Si el riesgo está asociado a consecuencia muy dañinas para la salud, se necesita determinar con mas precisión la necesidad de mejorar las medidas de control a muy corto plazo, para lo cual se debe realizar la cuantificación (evaluación cuantitativa) del agente de peligro.
	Se debe implantar programas específicos para la prevención y control del riesgo.
	Deben tomarse acciones en el menor tiempo posible.
<b>ALTO</b>	Se debe proceder a la brevedad a cuantificar el agente de peligro. Una vez conocido el nivel del agente, se deben establecer medidas de control e implantar programas de prevención y control para el riesgo en consideración.
	Se debe verificar la disminución de los niveles una vez implantadas las medidas de control
<b>MUY ALTO</b>	Debe paralizarse el trabajo. No deben seguirse realizando trabajos hasta que el riesgo sea reducido.
	Una vez tomadas medidas de reducción se debe proceder a cuantificar el agente de peligro y se implantarán los programas de prevención y control que apliquen.



## ANEXO A.10. Diagrama de flujo de FCC. [12]



**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	Evaluación de las operaciones de transferencia de catalizador sobre el ambiente de trabajo y condiciones laborales en una planta de craqueo catalítico fluidizado
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC/ E MAIL</b>
<b>Gamboa a., Merzoily</b>	<b>CVLAC:</b> V- 17.731.076 <b>E MAIL:</b> varsovia7 @hotmail.com
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>

**PALABRAS O FRASES CLAVES:**

Evaluación

Craqueo catalítico fluidizado

polvo

Operaciones de transferencia

Riesgo

Ambiente

Equipos de recolección de polvo

Muestreo

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

**RESUMEN (ABSTRACT):**

La “evaluación de las operaciones de transferencia de catalizador sobre el ambiente de trabajo y condiciones laborales en una planta de craqueo catalítico fluidizado” se realizó, mediante una investigación de campo y documental que en primera instancia sirvió para identificación de los equipos, procesos y procedimientos involucrado en las operaciones de transferencia de catalizador que permitieron determinar las áreas afectadas por emisiones de polvo y a través de la metodología empleada por las normas de higiene ocupacional de PDVSA, para estimar el nivel de riesgo de exposición, que resultó alto. El objetivo de este trabajo es proponer medidas de control que disminuyan las emisiones y/o exposición de los trabajadores a polvos de catalizador, a través, de las mediciones de las concentraciones de polvo total y respirable, apoyado en los métodos de las normas NSHT 0500 y 0600.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**CONTRIBUIDORES:**

<b>APELLIDOS NOMBRES</b>	<b>Y</b>	<b>ROL/ CODIGO CVLAC/ E_MAIL</b>				
Ochoa Osvaldo	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS X</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>	
	<b>CVLAC:</b>	3.995.379				
	<b>E_MAIL</b>	ochoa.osvaldo@gmail.com				
	<b>E_MAIL</b>					
Robert Rodríguez	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU X</b>	<b>JU</b>	
	<b>CVLAC:</b>					
	<b>E_MAIL</b>	Rodriguezrju@PDVSA.com				
	<b>E_MAIL</b>					
Maritza Millán	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU X</b>	
	<b>CVLAC:</b>	4.009.400				
	<b>E_MAIL</b>					
	<b>E_MAIL</b>					
Yaneis Obando	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU X</b>	
	<b>CVLAC:</b>	5.476.677				
	<b>E_MAIL</b>					
	<b>E_MAIL</b>					

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE. SPA****METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Metadatos 14	Application / msword

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K  
L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1 2  
3 4 5 6 7 8 9.**

**ALCANCE**

**ESPACIAL:** Departamento de Higiene Ocupacional/ PDVSA (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** 7 meses (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniero Químico

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pregrado

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de Ingeniería Química

**INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente. Núcleo Anzoátegui

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS**

Los trabajos de grado son de propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual lo participará al Consejo Universitario.

**Merzoily Gamboa**  
**AUTOR**

**AUTOR**

**AUTOR**

**Oswaldo Ochoa**  
**TUTOR**

**Maritza Millán**  
**JURADO**

**Yaneis Obando**  
**JURADO**

**Yraima Salas**  
**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**