

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



**REDISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE POLVO DE LA PLANTA  
DE FERTILIZANTES GRANULADOS N.P.K DEL COMPLEJO  
PETROQUÍMICO MORÓN**

**Realizado por:**

**Br. Figueroa Rodríguez Julio César**

**Trabajo de Grado Presentado Como Requisito Parcial para Optar al Título de  
Ingeniero Mecánico**

**BARCELONA, OCTUBRE DE 2010.**

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



**REDISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE POLVO DE LA PLANTA**  
**DE FERTILIZANTES GRANULADOS N.P.K DEL COMPLEJO**  
**PETROQUÍMICO MORÓN**

**ASESORES**

---

**Ing. Orlando Ayala**  
**Asesor Académico**

---

**Ing. Hernán Tovar**  
**Asesor Industrial**

BARCELONA, OCTUBRE DE 2010.

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



**REDISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE POLVO DE LA PLANTA**  
**DE FERTILIZANTES GRANULADOS N.P.K DEL COMPLEJO**  
**PETROQUÍMICO MORÓN**

**Jurado**

---

**Prof. Johnny Martínez**

Jurado Principal

---

**Prof. Edgar Rodríguez**

Jurado Principal

---

**Prof. Orlando Ayala**

Asesor Académico

BARCELONA, OCTUBRE DE 2010.

## **RESOLUCIÓN**

De acuerdo con el Artículo 41 “Los Trabajos de Grado son de la exclusiva 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 notificará al Consejo Universitario”

## DEDICATORIA

Primeramente a dios, por hacer que todo este sueño se haya materializado. También a mi virgencita del valle por guiar mis pasos y cuidarme cada vez que tuve que salir de casa a estudiar.

A mis padres: **Fanny Rodríguez** y **Emiro Figueroa** por creer siempre en mi y no desmayar en mi sueño de ser ingeniero, por darme toda la confianza y el apoyo que necesite para cumplir con esta meta, los AMO mis viejitos.

A mis hermanos: **Fanny**, **Karina** y **Emiro (Emirito)** por alentarme siempre a seguir adelante cuando mas lo necesite.

A la mujer que supo ganarse mi corazón y que me dio la mayor de las fuerzas cada vez que tuve un tropiezo en este largo camino, **María Teresa Rodríguez B.** Gracias por quererme y amarme como lo haces, TE AMO, eres una de las cosas más lindas que me ha pasado en la vida.

A todos mis amigos y familiares que en algún momento de mi carrera me apoyaron y supieron brindarme una palabra de aliento, gracias.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, a mi Virgen de Valle y a mi Nazareno Asuntino por protegerme y guiarme en todo momento.

A mis padres: Fanny María Rodríguez y Emiro Figueroa, por darme la vida e inculcarme buenos valores y principios, estando siempre en todo momento cuando los necesite y por prestarme siempre esa mano amiga que me ayudaba a levantar cada vez que lo necesite.

A la familia Amato Marcano, por hacerme sentir como uno más de sus hijos, por confiar en mi en todo momento y por las miles de cosas que hicieron por mi en todo este tiempo que duro mi carrera. Tía chucha, no se imagina el cariño, el amor y el aprecio tan grande que le tengo por ser tan buena. Los quiero.

A mi prima Anghy Polanco, por ayudarme en todo momento en PEQUIVEN y por prestarme su apoyo cada vez que lo necesite. Se te quiere mucho prima.

A la Universidad de Oriente por darme la oportunidad de crecer como profesional y como persona durante mi carrera.

A PEQUIVEN, por brindarme la oportunidad de realizar mis pasantías de grado en sus instalaciones y a todos mis amigos en PEQUIVEN Morón: Roger Idehoben (Supte. de Mtto. en Planta), Hernán Tovar (Asesor Industrial), José Cárdenas, Ulises Piña, Reivy, Yasmin Colina, Escudero, entre otros. Por hacer mi estadía en Morón más amena y placentera.

Al Prof. Orlando Ayala por ser mi asesor académico, brindarme todo su apoyo y soportarme durante todo este tiempo que duro el trabajo de grado, agradecido eternamente profesor, mil gracias.

A los profesores: Johnny Martínez y Edgar Rodríguez por el apoyo y la ayuda prestada.

A mi tía Carmen y mi tío Bruno, por todos los sacrificios que hicieron para que pudiera cumplir mi sueño de ser ingeniero mecánico y por brindarme calor de hogar en su casa durante mi pasantía de grado. Tíos los quiero mucho.

A mis amigos: Eliana, Yamile, Carlos, Deivys (El Pote), y María José (El aparato) por todas esas convivencias que pasamos y todos los apoyos prestados. Por ser los mejores amigos que he tenido.

## RESUMEN

El Complejo Petroquímico Morón, específicamente en la planta de granulados N.P.K, se genera indeseablemente un polvo por efecto del mal funcionamiento del sistema de captación, por tal razón la planta cuenta con un sistema de captación de polvo que se encarga de eliminar el indeseable polvillo que se genera en la planta. Sin embargo, éste sistema actualmente no tiene el rendimiento ni la capacidad que en su momento tuvo, ya que se ha visto afectado por el aumento de producción y modificaciones arbitrarias en los ductos que en lugar de aumentar, disminuyeron la eficiencia del mismo. Por tal motivo, en el presente trabajo se realizó el rediseño del sistema de captación de polvo de acuerdo a las condiciones de operación actuales del proceso y cumpliendo con las norma COVENIN 2250-2000, (1<sup>ra</sup> resolución) de *ventilación de los lugares de trabajo*. Esto con la finalidad de mejorar las condiciones de trabajo en la planta y permitir que la mayoría del polvo generado sea captado por dicho sistema. Luego de evaluar y simular el sistema actual, con el programa computacional PIPEPHASE 9.0, considerando las emisiones y las características granulométricas del polvo, se obtuvieron resultados que permitieron rediseñar y mejorar el sistema actual de captación de polvo. Se propusieron alternativas para mejorar el rendimiento del sistema y solventar los problemas de taponamiento en las tuberías por la acumulación de materia prima y producto terminado de las mismas.

## CONTENIDO

RESOLUCIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
RESUMEN.....	viii
CONTENIDO .....	ix
LISTA DE TABLAS .....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
CAPÍTULO I.....	14
INTRODUCCIÓN .....	14
1.1 Generalidades .....	14
1.2 Reseña historica de la empresa.....	15
1.3 Planteamiento del problema .....	17
1.4 Objetivos .....	19
1.4.1 Objetivo general .....	19
1.4.2 Objetivos Específicos .....	19
CAPÍTULO II .....	20
MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Antecedentes .....	20
2.2 Polvo.....	21
2.3 Planta de granulados NPK.....	22
2.4 Descripción del Sistema de Aspiración de Polvo.....	22
2.5 Características de diseño del ventilador del sistema de captación de polvo ..	23
2.6 Separadores de ciclón para gas-sólido.....	25
2.7 Ventilador.....	25
2.8 Sistema de transporte del fertilizante .....	26
2.9 Tambores rotativos (TR) .....	28

2.10 Fundamentos de la granulaci3n.....	29
2.10.1 An3lisis granulom3trico por tamizado.....	30
2.10.1.1 Determinaci3n de la granulometr3a .....	31
2.11 Medici3n del polvo por el m3todo gravim3trico. Norma COVENIN 2252:1998.....	32
2.11.1. M3todo de ensayo para la recolecci3n de muestras de part3culas suspendidas.....	32
2.11.2. Periodo de muestreo .....	33
2.11.3. Los pasos para la medici3n del polvo suspendido son:.....	34
2.11.4. Determinaci3n de la concentraci3n .....	35
2.11.5. C3lculo de la exposici3n.....	35
2.11.6. Evaluaci3n de la exposici3n .....	36
2.12 Dise1o de campanas .....	36
2.12.1. Velocidad de control.....	38
2.12.2. Determinaci3n del caudal de aspiraci3n.....	38
2.12.3. P3rdida por entrada a la campana de aspiraci3n.....	39
2.12.4. Altura de presi3n din3mica.....	40
2.13. Velocidad de transporte del contaminante .....	43
CAP3TULO III.....	45
DESARROLLO DEL PROYECTO .....	45
3.1 Ubicaci3n geogr3fica y clasificaci3n de la planta de fertilizante granulado NPK.....	45
3.2 Descripci3n de los sistemas de captaci3n de polvo estudiados.....	52
3.2.1 Descripci3n del sistema original .....	52
3.2.2 Descripci3n del sistema actual de captaci3n de polvo .....	53
3.3 Medici3n del polvo suspendido.....	55
3.4 An3lisis granulom3trico .....	58
3.4.1 Determinaci3n de la granulometr3a .....	60

3.5 Impacto ambiental del Sistema actual de captación de polvo de la planta de Granulados NPK del Complejo Petroquímico Morón .....	61
3.6 Caracterización del polvo suspendido.....	62
3.7 Determinación de las velocidades de control o captura .....	63
3.8 Determinación de la velocidad de transporte .....	63
3.9 Montaje de los sistemas de captación de polvo actual en el programa computacional PIPEPHASE 9.0 .....	64
3.10 Determinación del caudal de aspiración para las campanas captadoras del sistema original .....	65
3.11 Determinación del caudal de aspiración para las campanas captadoras del sistema actual .....	68
3.12 Rediseño del sistema actual de captación de polvo.....	69
3.12.1 Validación de la red de tubería del sistema actual de captación .....	70
CAPÍTULO IV .....	74
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	74
4.1 Medición del Polvo Suspendido.....	74
4.2 Granulometría y caracterización .....	75
4.3 Establecimiento del impacto ambiental del sistema actual .....	77
4.4 Rediseño del sistema actual de captación de polvo.....	79
CAPÍTULO V .....	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
5.1 Conclusiones .....	81
5.2 Recomendaciones.....	82
BIBLIOGRAFIA .....	83
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	85

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Número de muestras con respecto a la cantidad de trabajadores expuestos [1] .....	33
Tabla 2.2. Valores recomendados para las velocidades de control [7]. .....	42
Tabla 2.3. Intervalo general de velocidades de transporte [8]. .....	44
Tabla 3.1. Medición del polvo suspendido para el operador del área de materia prima y producción .....	59
Tabla 3.2. Medición del polvo suspendido para el operador del área de lavado .....	59
Tabla 3.4. Caudales de aspiración del sistema original .....	68
Tabla 3.5. Caudales de aspiración del sistema actual .....	69
Tabla 3.6. Estimación de los diámetros de las líneas del sistema actual .....	71
Tabla 3.7. Porcentaje de error relativo de los caudales del sistema actual y los del PIPEPHASE.....	72
Tabla 3.8. Porcentaje de error relativo entre las velocidades críticas de transporte obtenidas por PIPEPHASE y la de la norma COVENIN 2250-2000 para el sistema actual .....	73
Tabla 4.1. Características Granulométricas mediante el ensayo por tamizado.....	75
Tabla 4.2. Características de la corriente de aire-polvo en el separador de ciclón gas-sólido SC-501.....	76
Tabla 4.3. Concentraciones Ambientales Permisibles de Polvo tomados en los distintos puestos de Trabajo y Clasificación según la Norma COVENIN 2253:2001 .....	78

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama del Sistema de Captación de Polvo [2] .....	24
Figura 2.2. Separador de ciclón gas-sólido: a) vista lateral, b) vista superior [3]...	26
Figura 2.3. Elevador de cangilones vertical [4] .....	27
Figura 2.4. Tambor Rotativo [4] .....	29
Figura 2.5. Formación del grano por aglomeración y acreción. ....	30
Figura 2.6. Fenómeno de granulación por aglomeración.....	31
Figura 2.7 Distancia desde el punto focal a la boca de la campana (X) .....	39
Figura 3.1. Ubicación geográfica de la planta NPK.....	45
Figura 3.2. Esquema del área de materia prima .....	46
Figura 3.3. Esquema del tambor granulador TR-201 .....	47
Figura 3.4. Área de lavado .....	47
Figura 3.5. Esquema del área de secado .....	48
Figura 3.6 Tambor rotativo secador TR-401.....	49
Figura 3.7. Esquema del área de cribado y molienda .....	50
Figura 3.8. Esquema del área de enfriamiento y acondicionamiento .....	51
Figura 3.9. Acondicionador TR-602 .....	51
Figura 3.10. Diagrama de bloques de la planta NPK.....	52
Figura 3.11. Isométrico del sistema original.....	53
Figura 3.12. Isométrico del sistema actual.....	54
Figura 3.13. Ventana de introducción de datos del PIPEPHASE 9.0. ....	64
Figura 3.14. Montaje de las líneas de tuberías en PIPEPHASE .....	65
Figura 3.15. Vista de planta de la boca de la campana. ....	66
Figura 3.16. Tomas de aspiración sobre la cinta ET-507 (vista de planta).....	66
Figura 3.17. Sección transversal de la cinta ET-507.....	67
Figura 4.1. Emisión de polvo a la salida del granulador TR-201 .....	74
Figura 4.2. Ducto del sistema actual obstruido .....	80

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Generalidades

Ubicado en las costas del estado Carabobo, en las cercanías de la población de Morón, el Complejo Petroquímico Morón (PEQUIVEN) inició sus operaciones en 1956, con capacidad para producir 150 MTMA (Millones de Toneladas Métricas Anuales) de fertilizantes nitrogenados y fosfatados, la cual fue expandida a 600 MTMA durante el período 1966-1969. Desde su transformación, PEQUIVEN ha vivido sucesivas etapas de reestructuración, consolidación y expansión, en las que ha ampliado su campo de operaciones, desarrollando un importante mercado interno y externo para sus productos.

El complejo ha ampliado su capacidad de producción hasta alcanzar el nivel actual superior a 1,97 MMTMA (Mil Millones de Toneladas Métricas Anuales). Su producción es destinada básicamente a la manufactura de Urea, SAM (Sulfato de Amonio) y *Fertilizantes Granulados NPK/NP*. Así mismo, el Complejo Morón está provisto de instalaciones capaces de autoabastecer los servicios industriales que requieren sus operaciones. Su fuente principal de agua la constituye el embalse construido sobre el río Morón, del cual se obtiene el 100 % del agua requerida. También posee dos (2) generadores de 20 MW cada uno para suplir la demanda eléctrica del complejo.

## 1.2 Reseña histórica de la empresa

En el año 1957, el IVP adquirió los derechos de concesiones mineras de las minas de pirita (Aroa) y roca fosfática (Riecito).

En 1958, se concluyó en el Complejo Morón la construcción de las siguientes plantas: Cloro-Soda, Refinería Experimental y Mezcladora de Fertilizantes. Posteriormente, en el año 1962 se pusieron en marcha las plantas de: Ácido Sulfúrico, Molienda de Roca Fosfática y Superfosfato Simple; y al siguiente año se probó la instalación en Morón del Complejo de Explosivos, el cual constaba de las siguientes plantas: Dinamita, Nitroglicerina, Agente de Voladura y Nitrocelulosa.

En 1964 arrancaron las plantas de: Ácido Fosfórico, Superfosfato en Polvo, Amoníaco, Ácido Nítrico, Urea y Nitrato de Amonio sin accidentes ni daños al ambiente.

En 1966 se iniciaron los trabajos de la planta de Ácido Sulfúrico en Morón. En el año 1968 se inauguró oficialmente el Complejo de Explosivos de Morón y se inició la operación de la planta de Ácido Sulfúrico.

En 1971 se amplió la planta de Nitrocelulosa del Complejo de Explosivos de Morón. En 1973 se inauguraron las plantas de: Amoníaco, Urea, Granulados NPK (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) y Ácido Fosfórico en Morón. En marzo de 1978, PEQUIVEN pasó a ser responsabilidad directa de PDVSA, integrándose como una de sus filiales.

En 1986 en el Complejo Morón se comenzó la construcción de una nueva planta de Ácido Sulfúrico y la ejecución del proyecto de mezclas de fertilizantes a granel, lo cual marco el inicio de la puesta en marcha de un ambicioso plan de

expansión de PEQUIVEN. El Ejecutivo Nacional decretó la exoneración del Impuesto Sobre la Renta (ISLR) por cinco (5) años a las empresas que, constituidas con capital extranjero asociado con el capital privado nacional, participaron como empresas mixtas en el sector petroquímico.

PEQUIVEN para el año de 1996 triplicó su utilidad con respecto a años anteriores y así replanteó su futuro en el mediano plazo con miras a consolidar sus operaciones y cumplir los proyectos en proceso con la finalidad de avanzar en una nueva expansión petroquímica. Durante el año de 1997 PEQUIVEN adelantó nuevos proyectos con MOBIL CHEMICAL, un acuerdo preliminar de desarrollo para construir y operar un complejo de olefinas y derivados, ubicado en Jose, Estado Anzoátegui. Se firmó un convenio con KOCH NITROGEN COMPANY, SNAMPROGETTI y Empresas Polar, destinados a la construcción de un complejo de fertilizantes en el oriente del país llamado FERTINITRO.

En el año 2000, el Complejo Petroquímico Morón fue convertido en una filial de PEQUIVEN y pasó a llamarse SERVIFERTIL (Fertilizantes y Servicios para el Agro), con la intención de privatizarlo. Su capacidad de producción era de 840.000 TMA de fertilizantes y productos industriales, el 80% de los cuales se comercializó en el mercado nacional. Producía principalmente: amoníaco, urea, fertilizantes granulados NPK, sulfato de amonio, ácido fosfórico, ácido sulfúrico y roca parcialmente acidulada. Su red de distribución estaba integrada por: 7 superintendencias regionales, 3 centros de despacho, 13 distribuidores autorizados y 185 puntos de ventas. En sus inicios SERVIFERTIL, era una empresa filial de PEQUIVEN. Posteriormente, fue abriéndose de manera progresiva a inversionistas privados, especialmente aquellos relacionados con las actividades agropecuarias, de modo de convertirse en el mediano plazo en una empresa de capital mixto.

En el 2005, la República Bolivariana de Venezuela decreto la separación de PEQUIVEN de PDVSA para convertir a PEQUIVEN en una Corporación independiente adscrita al Ministerio de Energía y Petróleo (Decreto 3726 del 27 de junio). Asimismo, se trasladara la Sede Corporativa hacia el Estado Carabobo para contribuir con la estrategia de desconcentración territorial.

En marzo de 2006 se formalizo la separación de PEQUIVEN de PDVSA. Conjuntamente se crea el Vice ministerio de Petroquímica y Refinación y se anunciaron los planes de desarrollo de PEQUIVEN para el periodo 2006-2012.

Actualmente, PEQUIVEN ya inició el Proyecto de Adecuación del Complejo Petroquímico Morón con la construcción de la planta de Concentración de Roca Fosfática, cuya inversión supera los Bs. F. 128 millones. Dicho proyecto contempla la construcción de las plantas de: Urea, Amoníaco, Ácido Sulfúrico, así como también la Subestación Eléctrica, la planta de Aire Comprimido, la ampliación de la planta de Ácido Fosfórico y la planta de Concentración de Roca Fosfática.

Igualmente la empresa prevé construir 6 nuevas plantas de fertilizantes: cuatro (4) en el Complejo Petroquímico José Antonio Anzoátegui (Anzoátegui), una (1) en el Complejo Petroquímico Puerto Nutrias (Barinas), y otra en el Complejo Petroquímico Morón (Carabobo). En total estas plantas tendrán una capacidad de producción de 726 MTMA.

### **1.3 Planteamiento del problema**

Atendiendo a las políticas de seguridad de la empresa, la gerencia de mantenimiento se ha avocado a la necesidad de plantear un proyecto, que permita ayudar al mejoramiento del ambiente de trabajo y un buen aprovechamiento de la materia prima utilizada para la producción del fertilizante NPK/DAP, en beneficio del

medio ambiente, salud física de los trabajadores y los equipos productivos de la planta.

Como acción preventiva a la problemática que pueda presentarse, la gerencia de mantenimiento de PEQUIVEN, planteó la necesidad de evaluar y rediseñar el sistema de captación de polvo de la Planta 356 A, ya que ésta posee equipos cuya eficiencia depende principalmente de la capacidad de captación de polvo generado. Actualmente, el sistema de captación extrae polvo de los equipos de cribado, molienda, elevadores y cintas transportadoras de materia prima (ET-507); a través de ductos. Sin embargo, existen áreas del proceso en donde el sistema de captación de polvo no funciona correctamente y en otros no existen, lo que trae como consecuencia, desbalance del sistema por altos volúmenes de polvo, aumento de la capacidad del equipo de succión, taponamiento por adherencia de polvo en las paredes de los ductos y ciclones, mayor requerimiento de horas-hombres en la limpieza de los equipos y aceleración en el deterioro de las instalaciones.

Es por esto que se realizará una evaluación del sistema actual de captación de polvo en la Planta 356-A. Esta evaluación constará con el monitoreo de algunos parámetros operacionales de la planta como: presiones, caudales, velocidades de arrastre de partículas, así como también la caracterización y medición del polvo suspendido. Seguidamente, se realizará el rediseño del sistema, tomando en cuenta la norma COVENIN 2250:2000, con el que se pretende dimensionar nuevas ducterías y campanas que facilitarán la captación del polvo. Para finalmente, concretar el proyecto con el estudio del impacto ambiental que generará el nuevo sistema de captación de polvo.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Rediseñar el Sistema de Captación de Polvo de la Planta de Fertilizantes Granulados N.P.K del Complejo Petroquímico Morón.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

1. Evaluar el sistema actual de captación de polvo de la planta de granulados N.P.K.
2. Realizar la caracterización y medición del polvo suspendido.
3. Rediseñar el sistema de captación de polvo de la planta de granulados N.P.K del Complejo Petroquímico Morón según normas COVENIN 2250:2000.
4. Establecer el impacto ambiental del sistema actual de captación de polvo de la planta de granulados N.P.K del Complejo Petroquímico Morón.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

En el 2004, Rivas [11], realizó un Estudio para Rediseñar y Mejorar el Sistema de Captación de Polvo de la Planta de Fertilizantes Granulados, mediante la investigación de campo, los diagramas de: flujos de procesos, causa-efecto, del sistema de aspiración y diagrama de pareto, se determinó que existía diferencia entre el sistema de aspiración de polvo actual y el propuesto, motivado a que gran parte de las piezas que componían el sistema de aspiración presentaban desgaste, las cuales hacían que el proceso de elaboración del fertilizante no fuera el más eficiente. Además se detectó que existían tramos de ductos que presentaban velocidades de transporte por debajo de lo especificado. Entre las mejoras y modificaciones planteadas se encontraban, la implementación de un plan de mantenimiento preventivo a todo el sistema de aspiración, incluyendo los equipos, y la incorporación de instrumentos de medición de velocidad de flujos y caídas de presión a lo largo de todo el sistema.

En el 2006, Carmona [12], realizó el Estudio del Sistema de Desempolvado de la Planta Midrex II de (SIDOR C.A) de acuerdo a las condiciones presentes para entonces, esto con la finalidad de establecer los requerimientos necesarios para implementar un separador seco. Esto fue realizado mediante la investigación de campo, determinando: las características granulométricas del polvo captado por el sistema, caudales requeridos por las campanas y dimensionamiento de la red de ductos. Los resultados le permitieron diseñar un separador tipo ciclón, así como, también proponer alternativas para mejorar el rendimiento del sistema y solventar la

saturación del depurador húmedo, por acumulación y sedimentación de los polvos metálicos de menor tamaño en el interior de dicho sistema.

En el 2007, Orta [13] realizó un trabajo que, consistió en el Diseño de un Succionador a Granel para el Área de Envarillado de la Planta de Carbón C.V.G Venalum. Este proyecto fue basado en la utilización de un sistema de vacío conocido como *vacutrans*, el cual funciona con un principio análogo al de un inyector, generando depresión a partir del suministro de aire comprimido como fluido de trabajo. Finalmente, sus resultados le permitieron presentar dos (2) modelos de succionadores funcionales, acompañados de especificaciones, ventajas, desventajas, criterios de selección y características.

Este proyecto difiere de los trabajos mencionados anteriormente en la medición y caracterización del polvo suspendido, que posteriormente indicará el tipo de polvo con el que se está trabajando y en qué cantidad es manejado. Otro punto de diferencia es el estudio del impacto ambiental para el sistema actual y el nuevo diseño, que se desarrollará con la finalidad de medir el efecto de las emisiones de polvo en el ambiente de trabajo y sus alrededores.

## **2.2 Polvo**

El polvo, no es más que el término con que se designa a las partículas sólidas finamente divididas, de dimensiones y de procedencia diversa, clasificándose de dos maneras:

### 1 Polvo total (inhalable)

Son aquellas partículas de materiales sólidos suspendidos en el aire, capaces de depositarse en cualquier parte del tracto respiratorio.

## 2. Polvo respirable

Partículas de materiales sólidos suspendidos en el aire, capaces de causar daño cuando se deposita en la región de intercambio gaseoso de los pulmones [1].

### 2.3 Planta de granulados NPK

Para la fabricación de fertilizantes se utilizan como materia prima: ácido fosfórico, amoníaco líquido, ácido sulfúrico al 98%, cloruro y sulfato de potasio (KCl y  $K_2SO_4$ ), sulfato de amonio, antiapelmazante, Fosfato monoamónico (MAP), sulpomag (Sulfato de potasio/magnesio) y roca fosfática.

Y se requieren los siguientes insumos: electricidad, gas natural, aire de instrumentos, aire de servicios, agua potable, vapor de agua de baja presión [2].

### 2.4 Descripción del Sistema de Aspiración de Polvo

El sistema de aspiración de polvos y gases de la planta N.P.K se encuentra conformado por: ventiladores, lavadores de gases y polvo, separadores ciclónicos (gas-sólido), una chimenea y ductos que conectan todos los equipos nombrados, (Las líneas en rojo de la Fig. 2.1, representan el sistema de aspiración de polvo de la planta NPK). Los gases de  $NH_3$ , fluoruros y cloruros provenientes de las unidades A-201 y TR-201 son extraídos por el ventilador VV-302, para luego ser enviados por medio de ductos hacia el lavador de gases de cola SC-300. Seguidamente, las partículas de polvo provenientes del secador TR-401, son aspiradas por el ventilador VV-301 y transportado mediante los ductos al separador de ciclón gas-sólido SC-401. El gas pre-limpiado de partículas grandes es enviado al lavador SC-301 y de éste al lavador de cola SC-300. Los gases provenientes del SC-301 y SC-302 llegan al lavador de gases de cola SC-300 con la finalidad de eliminar al máximo el residuo de partículas

de polvo en la corriente, para luego ser enviados a la chimenea C-300 y de ahí su posterior descarga a la atmósfera.

Las partículas de polvo que se generan en la cinta transportadora ET-507 son aspirados por el ventilador VV-303 al separador de ciclón gas-sólido SC-501, para su posterior descarga a la chimenea C-300. De igual manera, la corriente de gases y polvo proveniente del tambor enfriador y acondicionador TR-601 son dirigidos al separador de ciclón gas-sólido SC-303 mediante el ventilador VV-303, garantizando el paso del gas a través del sistema de lavado y pre-limpiado de partículas para luego ser enviados a la chimenea C-300.

También cabe destacar que el polvo recolectado en los separadores de ciclón gas-sólido SC-401, SC-501 y SC-601 son reinsertados en el sistema [2].

A continuación se muestran los principales equipos que integran el sistema de aspiración de polvo.

## **2.5 Características de diseño del ventilador del sistema de captación de polvo**

De los datos suministrados por la gerencia técnica de procesos del manual de operaciones de la planta de fertilizantes granulados instalación 356-A-NPK-DAP. Las características del ventilador usado en el sistema de captación son las siguientes [2]:

**Marca = Howden Buffalo**

- Flujo = 110000 m<sup>3</sup>/h
- Presión = in: 625 mmhg - 12,085 psi  
Out: 225 mmhg - 4,35 psi  
 $\Delta P = 7,735$  psi

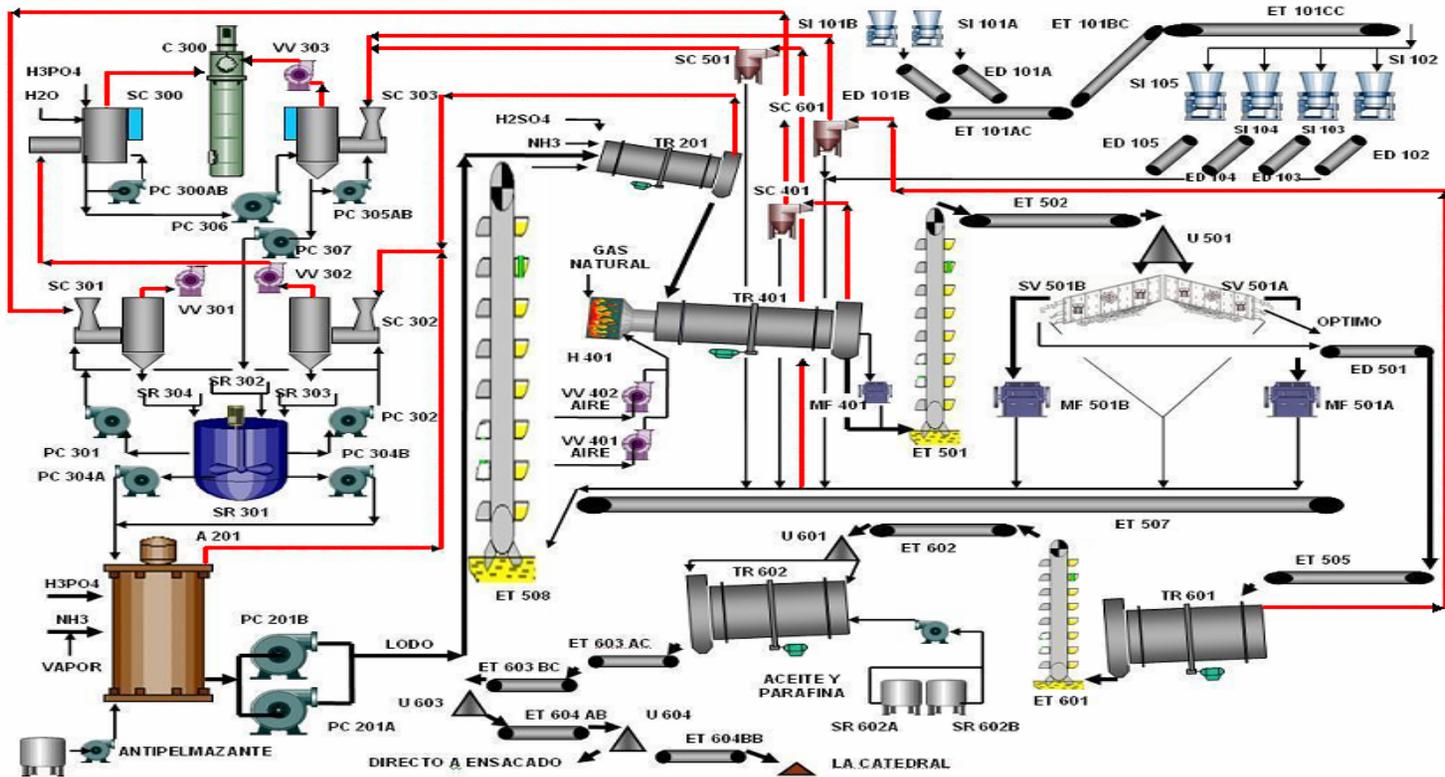


Figura 2.1. Diagrama del Sistema de Captación de Polvo [2]

- Potencia = 429 KW
- Velocidad = 1185 rpm
- Diámetro = 1937 mm

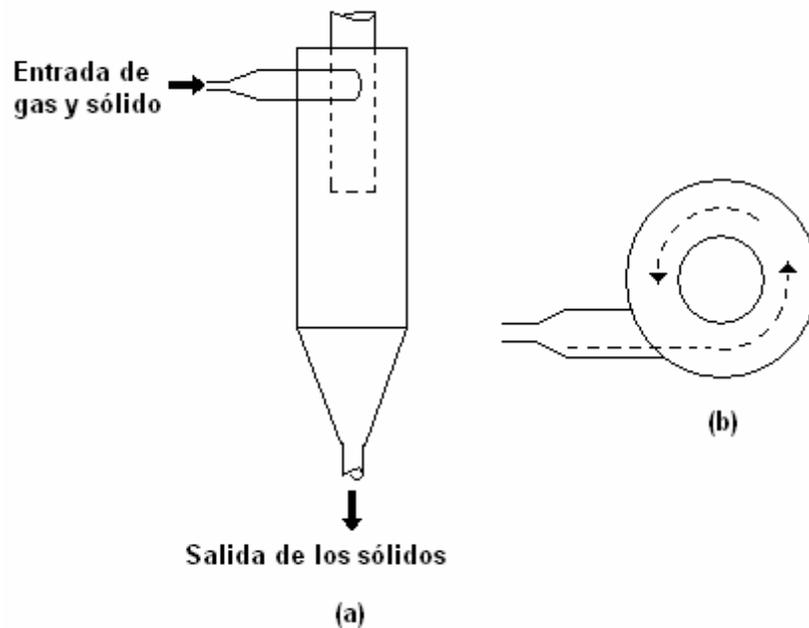
## 2.6 Separadores de ciclón para gas-sólido

Para separar partículas sólidas o polvo fino de los gases, el equipo de uso más común es el separador de ciclón que se muestra en la Fig. 2.2. El ciclón consta de un cilindro vertical de fondo cónico. La mezcla de gas y partículas sólidas entran tangencialmente por la parte superior. La penetración de la mezcla le imparte un movimiento giratorio, y el remolino que se desarrolla produce una fuerza centrífuga que arrastra a las partículas hacia la pared de forma radial [3].

Al entrar, el aire fluye hacia abajo en una espiral o vórtice adyacente a la pared. Cuando el aire se aproxima al fondo cónico, vuelve a subir en una pequeña espiral en el centro del cono y del cilindro. Por consiguiente, se forma un vórtice doble. Las espirales descendente y ascendente giran en el mismo sentido. Las partículas son arrastradas hacia la pared y caen al fondo, saliendo por la parte inferior del cono [3].

## 2.7 Ventilador

Es el responsable de crear una diferencia de presión entre el sistema y la atmósfera, para generar un flujo de aire que arrastre el polvo en los puntos de aspiración, para transportarlo hasta el área de lavado y luego a la atmósfera [4].



**Figura 2.2. Separador de ciclón gas-sólido: a) vista lateral, b) vista superior [3]**

## 2.8 Sistema de transporte del fertilizante

A diferencia de otros medios de transporte, el más utilizado para el traslado y movimiento del fertilizante, es el mecánico, el cual se caracteriza por disponer de un sistema de impulsión que provee la energía necesaria para el movimiento de éste. El uso de este medio de transporte en la industria del fertilizante es bastante extenso debido a la variedad de equipos existentes que pueden satisfacer una amplia gama de necesidades en lo relativo a capacidad, trayectoria y naturaleza del fertilizante.

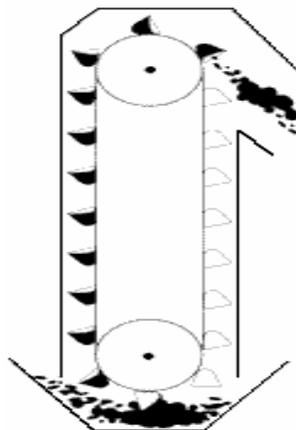
El sistema de transporte mecánico del fertilizante más utilizado en la Planta 356-A del complejo petroquímico morón son las cintas o bandas transportadoras y los elevadores de cangilones, los cuales se presentan a continuación:

➤ Cintas o bandas transportadoras

Consta de una cinta o banda flexible y continua que se desplaza apoyada sobre una superficie rígida o sobre estaciones de rodillos locos espaciados convenientemente. El movimiento de la cinta se logra mediante un mecanismo impulsor (motor-reductor) que acciona un tambor o rodillo colocado en uno de los extremos o en la parte inferior del transportador. Todo el conjunto se encuentra montado sobre una estructura metálica de perfiles angulares o en U. La cinta es usada principalmente para el traslado del fertilizante hacia los lugares requeridos [4].

➤ Elevador de cangilones

Un elevador de cangilones es el mecanismo que se emplea para acarrear o manejar el material (fertilizante granulado) de manera vertical (ver Fig. 2.3). Los elevadores verticales dependen de la componente radial de la velocidad de rotación y de la gravedad para dirigir el material hacia el chute de descarga y debe ser operado a una velocidad relativamente alta [4].



**Figura 2.3. Elevador de cangilones vertical [4]**

La capacidad de un elevador de cangilones está dada por:

$$C = D_p * \pi * N * 60 * V * p * k * d \quad (2.1)$$

donde:

C = Capacidad del elevador, ton/h (lb/h)

$D_p$  = Diámetro de la polea, m (pie)

N = Revoluciones por minutos de la polea superior

V = Volumen del cangilón, m<sup>3</sup> (pie<sup>3</sup>)

p = Densidad del material, ton/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>)

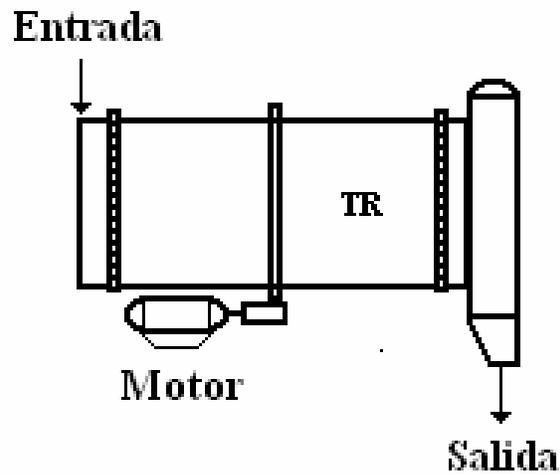
d = Numero de cangilones por metro

k = Factor de llenado (0-1)

## 2.9 Tambores rotativos (TR)

Es un recipiente cilíndrico giratorio, con un sistema motriz de acople directo o cadena, piñón y cremallera, está apoyado sobre cuatro soportes o ruedas giratorias y dos llantas o pistas (ver Fig. 2.4). Existen diferentes tipos de tambores rotativos, dependiendo del proceso que se esté desarrollando, los tambores se pueden clasificar en [4]:

- Tambores Granuladores.
- Tambores Secadores.
- Tambores de enfriamiento y acondicionamiento.



**Figura 2.4. Tambor Rotativo [4]**

### **2.10 Fundamentos de la granulación**

Existen algunas características deseables en la fabricación de los fertilizantes granulados, las cuales se mencionan a continuación:

- Los granos deben poseer un rango de tamaño definido.
- Una proporción adecuada de nutrientes en función de la formulación realizada.
- Suficiente fuerza para resistir manejo mecánico sin una ruptura significativa de los granos individuales. Reducción en la generación de polvo.
- No se compacte severamente durante su transporte o almacenamiento.
- Fluya libremente para facilidad en la carga y descarga de vagones, barcas y del propio equipo de aplicación.

La granulación óptima solo se puede lograr con un control eficaz del granulador. Lo anterior implica que el operador deberá estar en capacidad de producir gránulos de tamaño adecuado (2 a 4 mm) en la cantidad suficiente para ser exportados como producto, y también para el control del recicló. En la Fig. 2.5 se muestra la formación del grano por aglomeración y acreción [5].

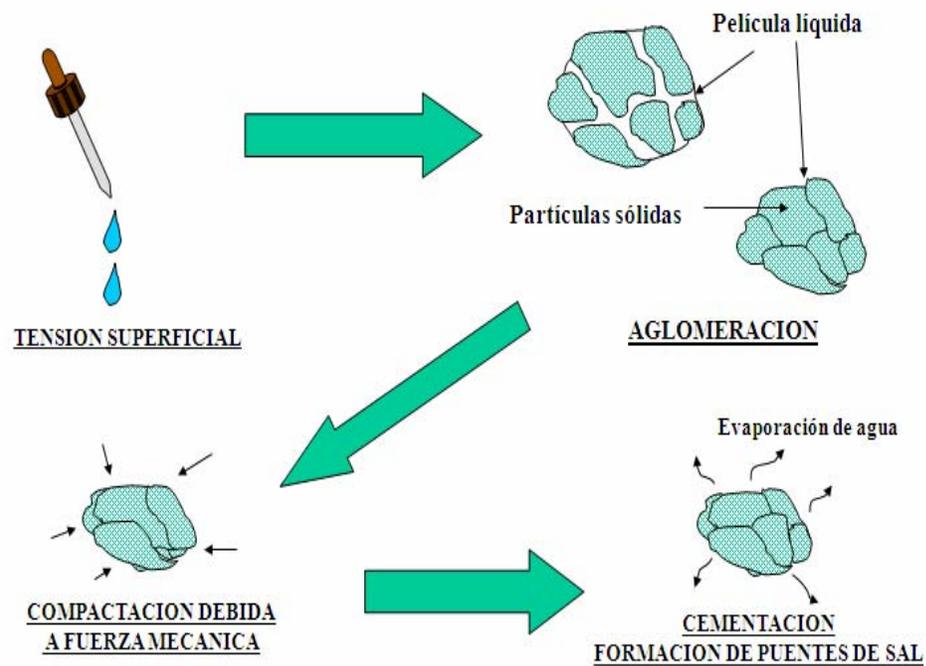


**Figura 2.5. Formación del grano por aglomeración y acreción.**

Además, debe producir una cantidad de finos y gruesos que se encuentren dentro de los valores manejables por los equipos. En caso contrario, estos se estarían sobrecargando, con el peligro de que se produzca taponamiento o descontrol durante la operación. En la Fig. 2.6 se muestra el fenómeno de granulación por aglomeración [5].

### **2.10.1 Análisis granulométrico por tamizado**

Es la proporción de partículas según los tamaños de abertura de los tamices usados y expresado como porcentajes de masa, que pasan o son retenidos en los tamices de abertura seleccionados, con relación a la masa total de la muestra. El ensayo consiste en someter una porción de muestra seca a un proceso de tamizado, con el propósito de determinar la distribución de los tamaños de las partículas que la constituyen.



**Figura 2.6. Fenómeno de granulación por aglomeración.**

La distribución de los tamaños se expresa en términos del porcentaje de masa, que pasa o es retenida en cada tamiz [6].

### 2.10.1.1 Determinación de la granulometría

El porcentaje de material granulométrico retenido en cada tamiz se obtiene al evaluar la siguiente ecuación [6]:

$$X_i = \frac{m_i \cdot 100}{m_t} \quad (2.2)$$

Donde:

$X_i$  = Porcentaje de material retenido en una tamiz dado

$m_i$  = Masa de material retenida en un tamiz dado, g (lb).

$m_t$  = Masa total de material ensayado, g (lb).

## **2.11 Medición del polvo por el método gravimétrico. Norma COVENIN 2252:1998**

### **2.11.1. Método de ensayo para la recolección de muestras de partículas suspendidas**

El método consiste en hacer pasar a través de un filtro un caudal de aire establecido, utilizando para ello un equipo portátil, que se le coloca al trabajador. La concentración de partículas suspendidas ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) en el ambiente de trabajo, se calcula a partir del volumen de aire aspirado y la cantidad de polvo recolectado en el filtro.

Para la toma de muestra de polvo es necesario contar con los siguientes equipos:

- Unidad de captación.
- Filtro de 37 mm de diámetro que cumpla con las características adicionales indicadas en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Número de muestras con respecto a la cantidad de trabajadores expuestos [1]**

Trabajadores Expuestos	< 8	8	9	10	11-12	12-14	15-17	18-20	21-24	25-29	30-37	38-49	50
Número de Muestras	Se evaluaran Todos los trabajadores expuestos	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

- Porta filtro de polietileno de dos o tres cuerpos de 37 mm de diámetro interior.
- Soporte metálico o de celulosa para filtro de 37 mm de diámetro.
- Ciclón de Nylon o equivalente de 10 mm de diámetro interior, con una salida para su conexión a la entrada del porta filtro.
- Dispositivo con adaptador para el acople del ciclón al porta filtro.
- Tubo flexible de polietileno de 6,4 mm de diámetro interior y de 1 m de longitud.
- Bomba de aspiración portátil para toma de muestra de tipo personal, que garantice un intervalo de caudal de aire de 1 L/min a 2,5 L/min.
- Medidor de flujo que permita determinar el caudal con una presión de  $\pm 5\%$ .
- Un regulador de flujo.

### 2.11.2. Periodo de muestreo

Es de resaltar que para determinar el periodo de muestreo debemos ajustarnos al código de buena práctica de la higiene ocupacional, de forma tal que permita aplicar el criterio de valoración con respecto a la norma.

Con respecto al tiempo de exposición que se debe tomar para el muestreo, éste factor debe ser considerado con mucho cuidado, debido a que la distribución y

eliminación de la sustancia o de sus productos metálicos, así como los cambios bioquímicos que ocurren, son eventos cinéticos. El tiempo de muestreo adecuado viene definido por la lista IBE, que no es más que, el nivel de determinante que tiene mayor probabilidad de ser observado en especímenes colectados de un trabajador saludable, que ha sido expuesto a sustancias químicas en la misma extensión a la que estaría un trabajador sometido a una exposición de concentración ambiental permisible.

Los determinantes para el tiempo de muestreo son:

- “Previo a la jornada” significa: 16 horas sin exposición, antes de la medida.
- “Durante la jornada” significa: se realiza la medición en cualquier momento después de 2 horas de exposición.
- “Al final de la jornada” significa: se realiza la medida tan pronto como sea posible después de cesar la exposición.
- “Finalizando la semana de trabajo” significa: se realiza la medición después de cuatro (4) o cinco (5) días consecutivos de trabajo con exposición.

### **2.11.3. Los pasos para la medición del polvo suspendido son:**

- a) Preparación de la unidad de captación.
- b) Calibración del equipo de medición de flujo.
- c) Preparación del ciclón y conexiones.
- d) Toma de muestra.
- e) Análisis de la muestra.

#### 2.11.4. Determinación de la concentración

Para el cálculo del volumen de aire aspirado, se utiliza la siguiente expresión:

$$V = Q * t \quad (2.3)$$

Donde:

V = Volumen de aire aspirado, L (pie<sup>3</sup>)

Q = Caudal de aire aspirado, L/min (pie<sup>3</sup>/min)

t = Sumatoria de los intervalos, (min)

Para el cálculo de la concentración se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = ((P_f - P_i) * 10)/V \quad (2.4)$$

Donde:

C = Concentración, mg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>)

P<sub>f</sub> = Peso final del filtro, mg (lb)

P<sub>i</sub> = Peso inicial del filtro, mg (lb)

V = Volumen de aire aspirado, L (pie<sup>3</sup>)

#### 2.11.5. Cálculo de la exposición

La exposición en cada punto donde se tomó la muestra se calculo de acuerdo a la siguiente expresión:

$$E = \frac{t_1 * C_1 + t_2 * C_2 + t_3 * C_3 + \dots + t_n * C_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n} \quad (2.5)$$

Donde:

E = Exposición, mg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>)

t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>, t<sub>3</sub>, ..., t<sub>n</sub> = Intervalos de tiempo de toma de muestras, min

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, ..., C<sub>n</sub> = Concentraciones determinadas en cada intervalo de tiempo, mg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>)

#### 2.11.6. Evaluación de la exposición

Para evaluar la exposición de los trabajadores se debe aplicar una estrategia de muestreo que garantice la validez estadística de la misma (ver Tabla 2.1). Para la selección de dicha estrategia se deben considerar los siguientes aspectos:

1. Patrón de movimiento del aire en el lugar de trabajo.
2. Cercanía de la fuente.
3. Tiempo de exposición.
4. Patrones de producción.

#### 2.12 Diseño de campanas

Se denomina campana de captación o campana al elemento de ingreso del aire al sistema de conductos de ventilación. El término campana se usa en un sentido amplio, incluyendo cualquier abertura de succión independientemente de su forma o tamaño, que permite que el aire ingrese al sistema de conductos. La función esencial

de la campana es, entonces, crear un flujo de aire que capture eficazmente al contaminante y lo transporte hacia ella [7].

Las campanas se proyectan tendiendo a lograr la máxima eficiencia aerodinámica en la captación del contaminante, es decir tratando de crear la velocidad necesaria en el área de contaminación, con la menor caudal y el mínimo consumo de energía. Para ello es conveniente, en la medida de lo posible, la colocación de pantallas o el encerramiento de procesos con el fin de encauzar el aire.

El tipo de campana a emplear dependerá de las características físicas de la fuente de contaminación, del mecanismo de generación del contaminante y de la posición relativa del equipo y del trabajador [7].

Los pasos para el diseño de una campana son:

- Determinar la ubicación respecto al proceso.
- Determinar la forma y tamaño.
- Determinar el caudal de aspiración.

El caudal volumétrico de aspiración, se calcula aplicando la ecuación de continuidad [7]:

$$Q = V * A \quad (2.6)$$

Donde:

Q = Caudal, m<sup>3</sup>/s (pie<sup>3</sup>/s)

V = Velocidad del aire, m/s (pie/s)

$A = \text{Área de la sección de pasaje del aire a la velocidad } V, \text{ m}^2 \text{ (pie}^2\text{)}$

### **2.12.1. Velocidad de control**

Se denomina velocidad de control o de captura a la velocidad mínima del aire, inducida en las proximidades de la campana, que es necesaria para capturar y dirigir hacia ella el aire contaminado. Esta velocidad de aire es función del caudal de aire aspirado y de la forma de la campana.

### **2.12.2. Determinación del caudal de aspiración**

Para calcular el caudal de aire a aspirar por la campana se debe [7]:

1. Determinar la velocidad de control que se debe ejercer sobre un punto exterior ubicado a una distancia  $X$  del frente de dicha campana (ver Tabla 2.2).
2. Determinar el área de contorno de velocidad que pasa por dicho punto.
3. Obtener el caudal utilizando la Ec. (2.6).

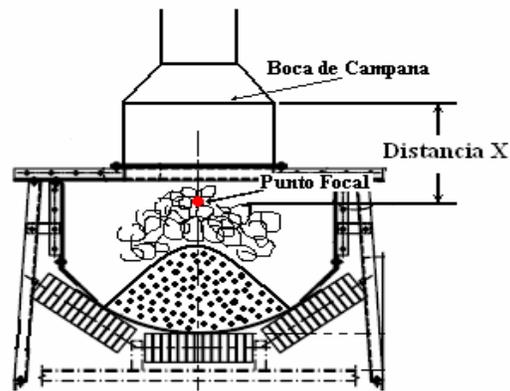
Esto se conoce como el método racional para el cálculo de campanas exteriores. La dificultad de la aplicación de la Ec. (2.6) radica en la determinación del área del contorno de velocidad. Es por ello que se han realizado estudios que han permitido obtener los valores de velocidades inducidas en las proximidades del frente de la campana, en función de la distancia a la boca de aspiración. El caudal de aspiración viene dado por la expresión [7]:

$$Q = V * (10 * X^2 + A) \quad (2.7)$$

Donde:

$Q$  = Caudal de aire aspirado por la campana,  $\text{m}^3/\text{s}$  ( $\text{pie}^3/\text{s}$ )

$V$  = Velocidad de control en el eje de la campana a una distancia  $X$  de la boca,  $\text{m/s}$  ( $\text{pie/s}$ ) (ver Fig. 2.7)



**Figura 2.7 Distancia desde el punto focal a la boca de la campana (X)**

$X$  = Distancia a la boca de la campana, m (pie)

$A$  = Área del frente de la boca de la campana,  $\text{m}^2$  ( $\text{pie}^2$ )

De la Ec. (2.7) se deduce que el caudal varía con el cuadrado de la distancia de la campana.

### 2.12.3. Pérdida por entrada a la campana de aspiración

En este estudio, las pérdidas en las campanas se deben a lo siguiente [7]:

1. Pérdida de altura de presión por turbulencia en la campana.
2. Pérdida de altura de presión por turbulencia en las ranuras que existen en el frente y/o en el interior de la campana.

3. Pérdida de altura de presión necesaria para la aceleración del aire desde la velocidad prácticamente nula en el frente de la campana, a la velocidad (V) que se alcanza dentro del conducto conectado a la campana, y que resulta igual a la altura de presión dinámica ( $h_D$ ).

Las pérdidas en las campanas se calculan como:

$$h_{Ecampana} = K_{ent} * h_D + K_{ran} * h_{D_{ran}} + h_{D_{ran}} + h_D \quad (2.8)$$

Donde:

$h_{Ecampana}$  = Pérdida de la campana, mmca.

$K_{en}$  = Coeficiente o factor de pérdida en la entrada de la campana.

$h_D$  = Altura de presión dinámica, corresponde a la velocidad del aire en el ducto conectado a la campana, mmca.

$K_{ran}$  = Coeficiente ó factor de pérdida por ranura.

$h_{D,ran}$  = Altura de presión dinámica, corresponde a la velocidad que adquiere el aire al atravesar la ranura, mmca [7].

Cuando la campana no posee ranura, la expresión queda de la siguiente manera:

$$h_{Ecampana} = K_{ent} * h_D + h_D = (K_{ent} + 1) * h_D \quad (2.9)$$

#### 2.12.4. Altura de presión dinámica

La presión dinámica corresponde a la siguiente expresión [7]:

$$h_D = \frac{V^2}{2g} * \frac{\gamma}{\gamma_a} = \frac{V^2}{2g} * \frac{\rho}{\rho_a} \quad (2.10)$$

Como:  $\rho = \gamma/g$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) y reemplazando en la Ec. (2.10) el valor de la gravedad y la densidad del agua, por:  $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$  y  $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$  respectivamente, resulta:

$$h_D = \left( \frac{V}{4,43} \right)^2 * \rho \quad (2.11)$$

En la Tabla 2.2 se indican los valores recomendados para las velocidades de control [7].

**Tabla 2.2. Valores recomendados para las velocidades de control [7].**

<b>Condiciones de dispersión del contaminante</b>	<b>Ejemplo</b>	<b>Velocidad de control (m/s)</b>
I. Liberado casi sin velocidad en aire tranquilo.	Evaporación desde depósitos; des-engrase, etc.	<b>0,25 - 0,5</b>
II. Liberado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo.	Cabinas de pinturas; llenado intermitente de recipientes; transferencias entre cintas transportadoras a baja velocidad; soldadura; recubrimientos superficiales; pasivado.	<b>0,5 - 1,0</b>
III. Generación activa en una zona de rápido movimiento	Cabinas de pintura poco profundas; llenado de barriles; carga de cintas transportadoras.	<b>1,0 - 2,5</b>
IV. Liberado con alta velocidad inicial en una zona de movimiento muy rápido del aire.	Desmolde de fundiciones, chorro de aire abrasivo.	<b>2,5 - 10</b>
En cada una de las condiciones citadas se indica un rango para los valores de la velocidad de control. La selección del valor adecuado depende de los siguiente factores:		
<b>Límite inferior</b>		<b>Límite superior</b>
1. Corrientes de aire en el local mínimas o favorables a la captura del contaminante.	1. Corrientes de aire que distorsionan la captura del contaminante.	
2. Contaminantes de baja toxicidad o molestos.	2. Contaminante de alta toxicidad.	
3. Producción de contaminantes baja o intermitentes.	3. Gran producción, uso continuo.	
4. Campana de gran tamaño o con una gran masa de aire en movimiento.	4. Campanas pequeñas, únicamente control local.	

Y reemplazando en la Ec. (2.11) el valor de la densidad del aire, que se usará en el PIPEPHASE 9.0 de 1,293 kg/m<sup>3</sup>, se tiene:

$$h_D = V^2 / 15174 \quad (2.12)$$

Donde:

$V$  = Velocidad de la corriente de aire, justo después de la salida de la campana, m/s (pie/s)

Esta velocidad de la corriente de aire se puede determinar por la siguiente expresión [7]:

$$V = \frac{Q}{\left(\frac{\pi}{4} * D^2\right)} \quad (2.13)$$

Donde:

$V$  = Velocidad del fluido, m/s (pie/s)

$Q$  = Caudal aspirado por la campana captadora, m<sup>3</sup>/s (pie<sup>3</sup>/s)

$D$  = Diámetro del ducto acoplado a la campana, m (pie)

### **2.13. Velocidad de transporte del contaminante**

La velocidad del aire en los ductos de un sistema de ventilación, debe ser tal que se garantice el transporte del contaminante, evitando su asentamiento y la obstrucción del sistema. A tal efecto, se deben utilizar las velocidades de transporte que se indican en la Tabla 2.3, referente al intervalo general de velocidades de transporte [8].

**Tabla 2.3. Intervalo general de velocidades de transporte [8].**

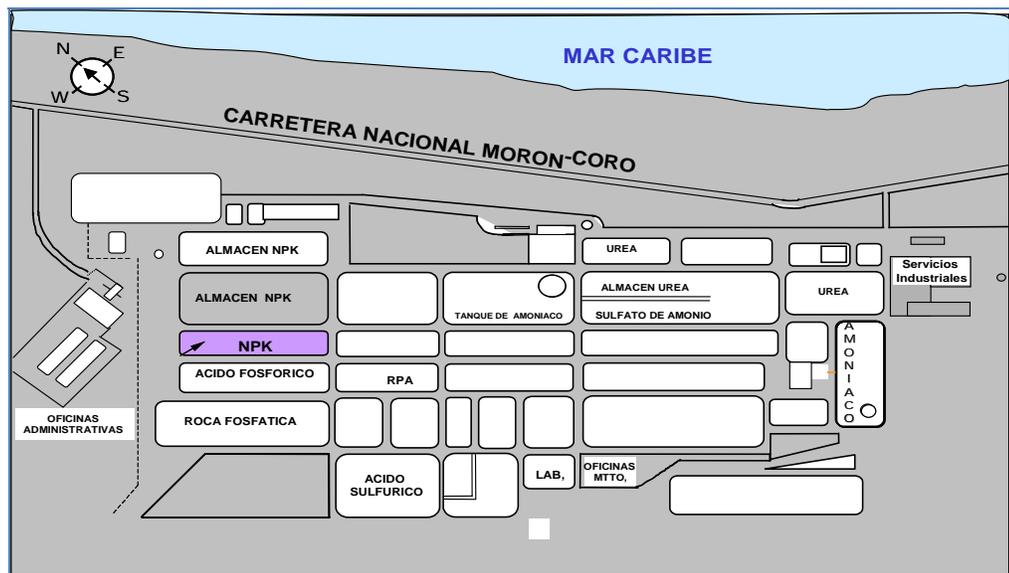
<b>Naturaleza del contaminante</b>	<b>Intervalo de velocidades (m/s)</b>	<b>Ejemplos de contaminantes</b>
Humo y cualquier tipo de vapores y gases	Cualquier velocidad. Usualmente se utiliza entre 5 – 6	Vapores, gases y humos
Humo de fundiciones	7 – 10	Humo de oxido de aluminio y oxido de zinc
Polvos livianos muy finos	10 – 13	Pelusa de algodón, polvo fino en operaciones de lijado de madera, polvo en operaciones de litografía
Polvos secos	13 – 18	Polvo fino de goma, polvo de moldeo de baquelita, polvo de algodón, polvo de jabón
Polvos industriales típicos	18 – 20	Aserrín pesado y húmedo, pelusa de pulitura seca, polvo de lana de yute, polvo de molienda, arena de sílice, polvo de granito, polvo de cuero, polvo de cuero, manejo de materiales polvorientos y baldosas, polvo de fundiciones, polvo de arcilla, polvo de cal, polvo en operaciones pesado de asbesto en la industria textil.
Polvos pesados	20 – 23	Polvo de operaciones de torneado de materiales, polvo de preparación de arena de desmoldeo en fundiciones, polvo de limpieza con chorros de arena, polvo de plomo, polvo en la forja de hierro, viruta metálica
Polvos pesados y húmedos	>23	Polvo de plomo con pequeñas virutas, polvo de cemento húmedo, polvo de cal viva

## CAPÍTULO III

### DESARROLLO DEL PROYECTO

#### 3.1 Ubicación geográfica y clasificación de la planta de fertilizante granulado NPK

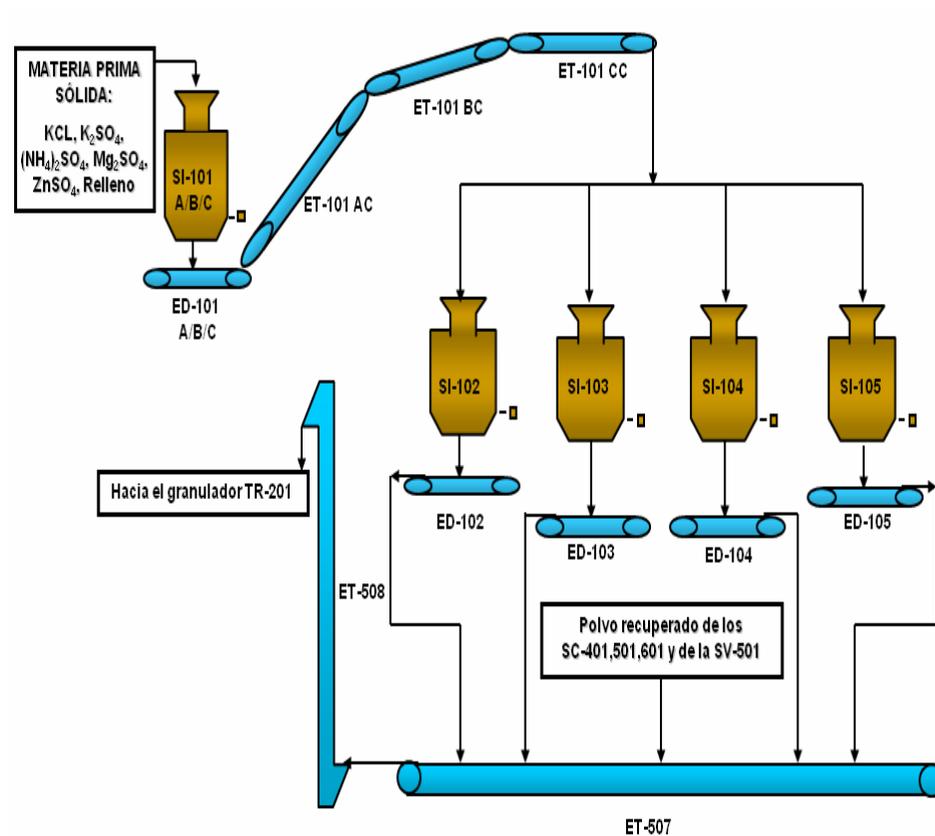
La planta de fertilizante granulado NPK se encuentra ubicada en la costa del estado Carabobo, específicamente dentro del complejo petroquímico Morón, al suroeste del mar Caribe y paralela a la carretera nacional Morón – Coro, como se muestra en la Fig. 3.1.



**Figura 3.1. Ubicación geográfica de la planta NPK.**

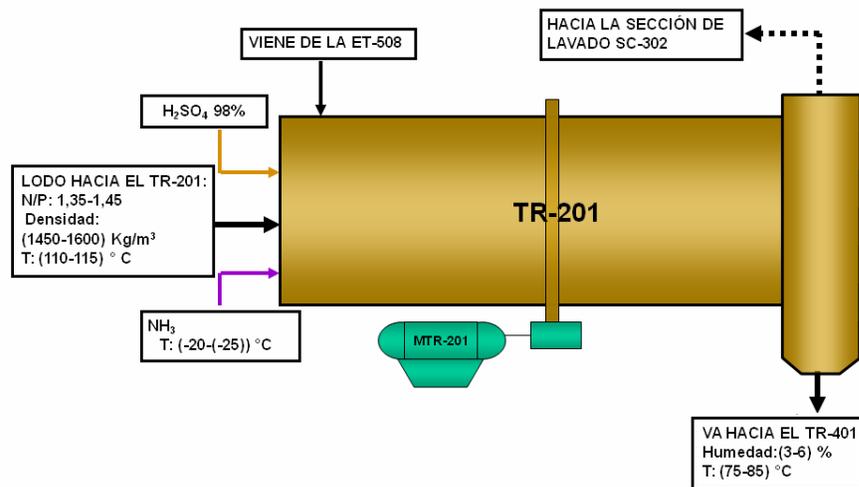
Es de resaltar que la planta se encuentra clasificada por áreas las cuales se mencionan a continuación:

**Área de Materia Prima.** Es donde se introducen al sistema los componentes que dan vida al fertilizante, tales como: el ácido sulfúrico, amoníaco líquido, cloruro, sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ), ácido sulfúrico al 98%, sulfato de amonio, relleno y el antiapelmazante (ver Fig. 3.2).



**Figura 3.2. Esquema del área de materia prima**

**Área de Granulación.** En esta área se da la creación del grano del fertilizante, específicamente en el tambor rotativo TR-201, es donde se mezclan las materias primas para dar forma al grano de fertilizante (ver Fig. 3.3).



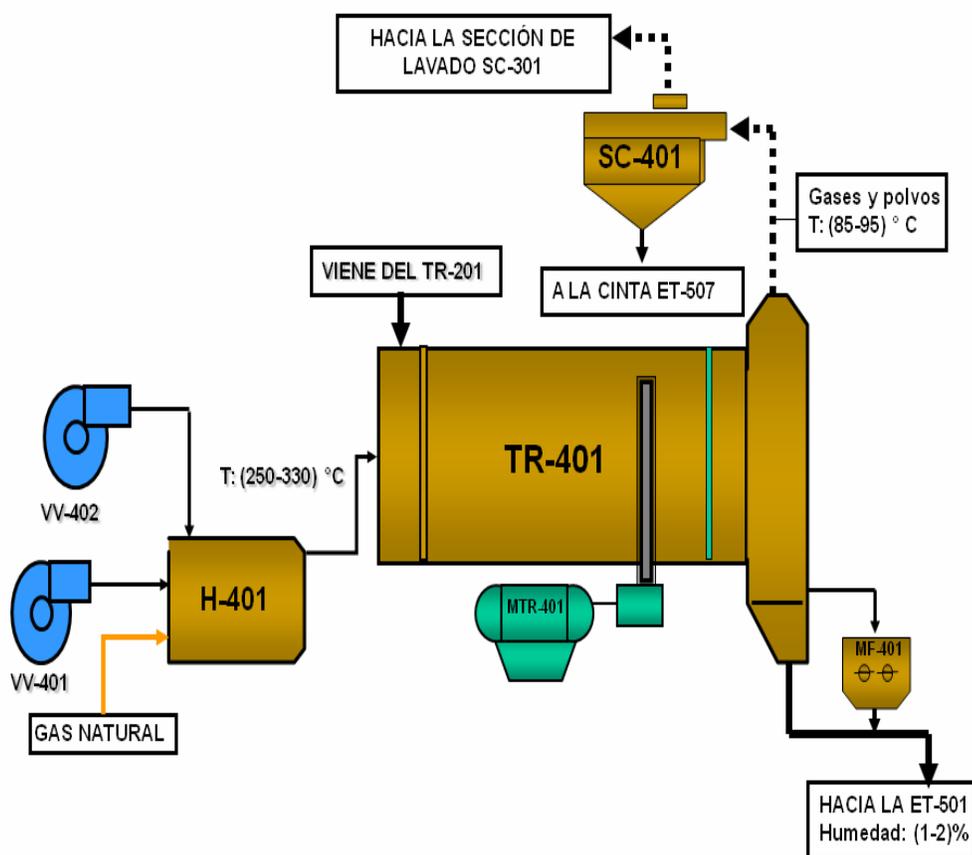
**Figura 3.3. Esquema del tambor granulador TR-201**

**Área de lavado.** Es aquí donde se efectúa el lavado de polvos y gases colectados por el sistema que posteriormente es introducido de nuevo al sistema en forma líquida como lodo en el TR-201. Esta área está ubicada en la parte sureste de la planta, y puede verse claramente en la Fig. 3.4.



**Figura 3.4. Área de lavado**

**Área de secado.** Esta área está conformada por un horno, dos ventiladores y un tambor rotativo (ver Fig. 3.5). Los ventiladores VV-401 y VV-402, se encargan de soplar aire caliente del horno H-401y dirigido hacia el tambor rotativo TR-401 (ver Fig. 3.6), con la finalidad de extraerle al grano de fertilizante la mayor cantidad de humedad posible y dejarlo con un porcentaje comprendido entre 1-2 %.

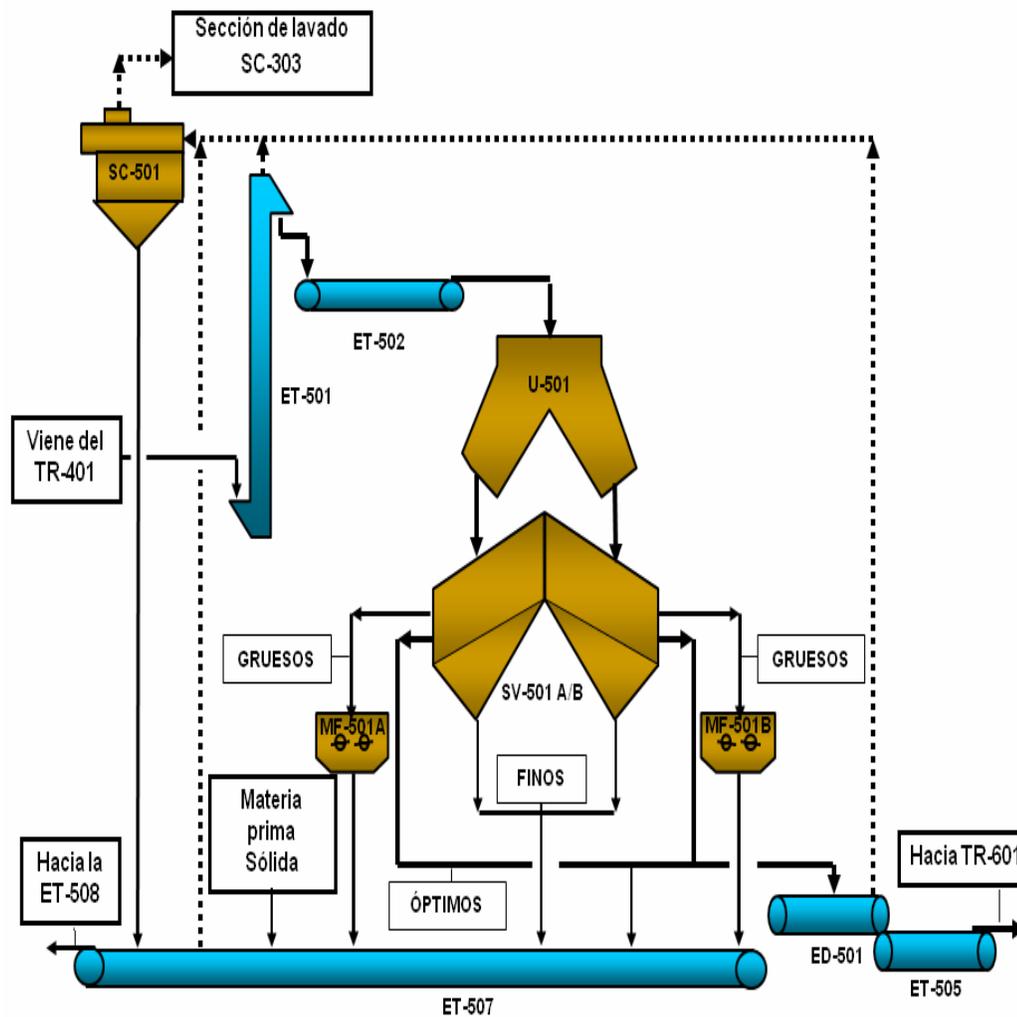


**Figura 3.5. Esquema del área de secado**



**Figura 3.6 Tambor rotativo secador TR-401**

**Área de Cribado y Molienda.** Esta es una de las áreas que presenta una mayor emisión de polvo, debido a que se pulverizan y tamizan los granos de gran tamaño. Esta área consta de dos cribas, dos molinos, un elevador de cangilones y la cinta transportadora matriz ET-507 (ver Fig. 3.7).



**Figura 3.7. Esquema del área de cribado y molienda**

**Área de Enfriamiento y Acondicionamiento.** Como su nombre lo indica, en esta área se acondiciona y se enfría el grano de fertilizante. Esta área está conformada por dos tambores rotativos, un elevador de cangilones, un tanque, una bomba y cintas transportadoras (ver Fig. 3.8). En esta área se le quita calor al grano en el tambor TR-601 para enfriarlo y luego es transportado al tambor rotativo TR-602 (ver Fig. 3.9), en donde se le agrega cera parafínica en forma de aceite para evitar el apelmazamiento.

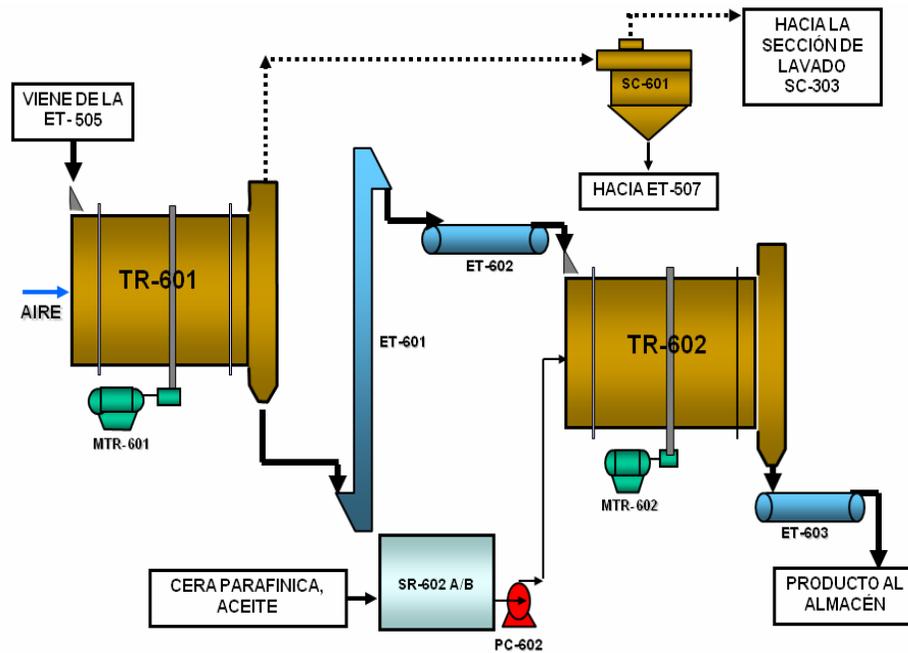
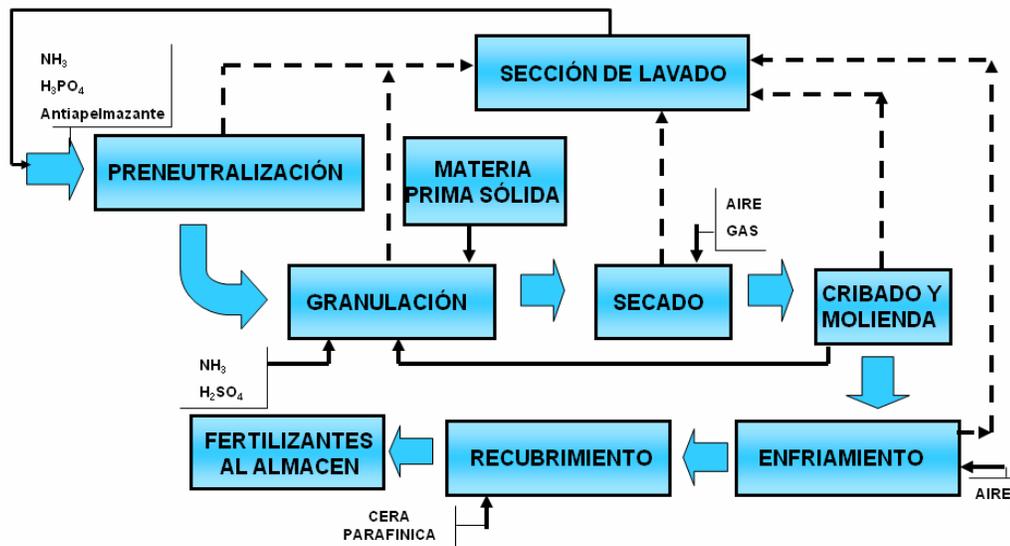


Figura 3.8. Esquema del área de enfriamiento y acondicionamiento



Figura 3.9. Acondicionador TR-602

De igual forma este conjunto de áreas se interconectan entre si por ductos y cintas transportadoras como se indica en el diagrama de bloques mostrado en la Fig. 3.10.



**Figura 3.10. Diagrama de bloques de la planta NPK**

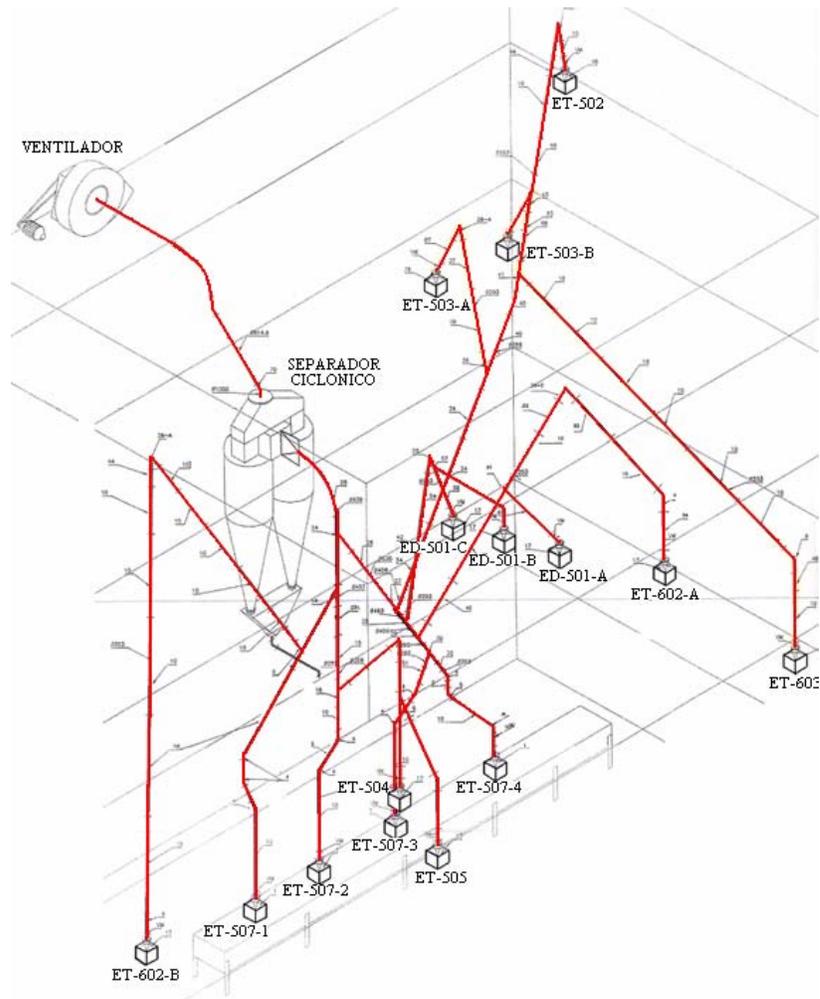
### 3.2 Descripción de los sistemas de captación de polvo estudiados

En esta etapa del proyecto se plantean los diferentes escenarios a estudiar, los cuales son: un sistema actual y un sistema original. El actual es el más reciente y fue el observado al momento de desarrollar este proyecto y el original, como su nombre lo indica, es aquel que se implantó al momento de crear la planta de fertilizante.

#### 3.2.1 Descripción del sistema original

Este sistema señalado por las líneas rojas en la Fig. 3.11, consta de: veintinueve (29) líneas de tuberías, quince (15) campanas captadoras de polvo, catorce (14) uniones o bifurcaciones, un (1) separador ciclónico de gas-polvo, un (1) ventilador

centrífugo y válvulas. Todos interconectados entre si para conformar el sistema original de captación de polvo.

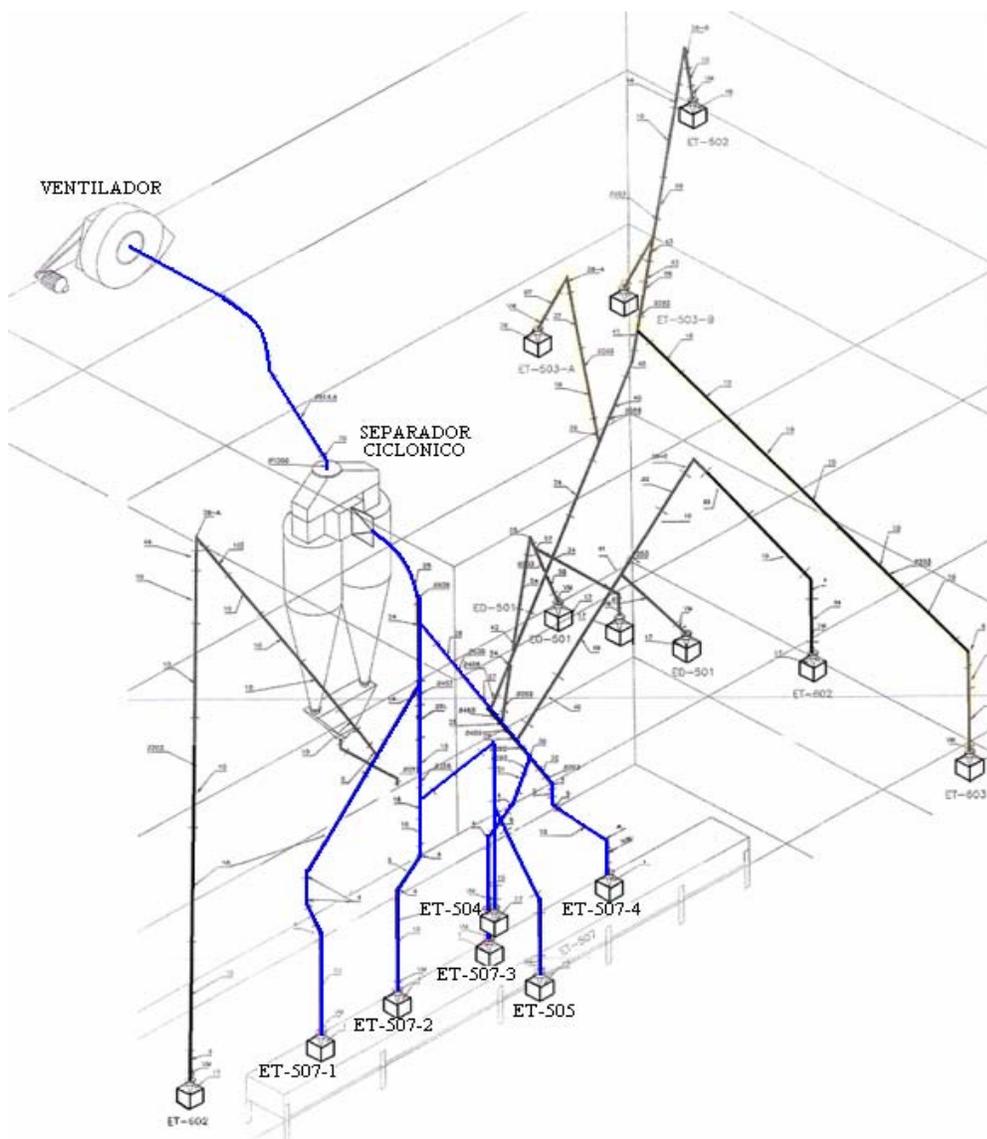


**Figura 3.11. Isométrico del sistema original**

### 3.2.2 Descripción del sistema actual de captación de polvo

Este sistema consta de: quince (15) líneas de tuberías, nueve (9) uniones u/o accesorios que interconectan dichas líneas, seis (6) campanas captadoras, un (1) separador ciclónico de gas-polvo y un (1) ventilador centrífugo, que es el encargado

de generar la presión de vacío en el sistema para promover el arrastre de las partículas de polvo. En la Fig. 3.12 se puede observar el isométrico del sistema actual, resaltado por la línea azul. El resto de las líneas de tuberías no resaltadas presentaron taponamiento con material y mutilaciones inadecuadas, de allí que no formen parte del sistema actual.



**Figura 3.12. Isométrico del sistema actual**

La evaluación de estos sistemas, tanto el original como el actual, se llevó a cabo por medio del programa computacional de simulación de redes de tuberías en régimen estacionario PIPEPHASE 9.0, el cual permite evaluar caudales, presiones y velocidades. Con el mismo se puede, determinar si el caudal de diseño manejado por el ventilador es el adecuado para dichos sistemas, y si las velocidades de transporte y de arrastre cumplen con las normas requeridas. Estos resultados posteriormente guiarán cómo se deben rediseñar los sistemas para establecer las mejoras.

### **3.3 Medición del polvo suspendido**

La medición del polvo suspendido se realizó por el método gravimétrico usando la norma COVENIN 2252:1998, ésta detalla la manera como se realiza dicha medición, la cual tiene como objetivo el cálculo de la concentración y volumen de aire aspirado para así conocer finalmente la exposición (E).

Para esto se realizó la medición del polvo a los siete (7) trabajadores de la planta de granulados NPK, ya que el método gravimétrico (ver Tabla 3.1) establece que cuando el número de trabajadores expuestos es menor a ocho (8) se deben evaluar todos los trabajadores. Por ello se realizó la toma de muestra a los siete trabajadores expuestos en dicha planta, colocándosele un colector portátil de polvo, a cada uno de los trabajadores. El periodo de muestreo se realizó “durante la jornada”, es decir en cualquier momento después de dos (2) horas de exposición, ya que se considera que es el momento donde los trabajadores tienen mayor contacto con el polvo y de esta manera medir desde este punto de vista el funcionamiento o eficiencia del sistema de captación de polvo.

El procedimiento para realizar dicha medición se hizo de la siguiente manera:

1. Se preparó la unidad de captación de polvo. Se escogió para este caso un filtro de PVC de 37 mm de diámetro considerando el tipo de polvo como molesto (total), ya que según la norma COVENIN 2252:1998, “son partículas sólidas suspendidas en el aire, capaces de depositarse en cualquier parte del tracto respiratorio” y según la Tabla B.2 del apéndice B tablas, referente a los elementos básicos para la toma de muestras del método gravimétrico. Este tipo de filtro utiliza un caudal de 1,5 a 2 L/min.
2. Se calibró el equipo de medición de flujo según la norma COVENIN 2252:1998 de Determinación de Polvos.
3. Se preparó el ciclón y las conexiones. Se revisó el tubo flexible y el ciclón verificando su adecuada limpieza y ausencia de roturas.
4. Luego se tomaron siete (7) muestras según la Tabla B.2 del método gravimétrico y siguiendo la norma COVENIN 2252:1998, donde se identificó el conjunto del porta filtro y filtro seleccionado registrándose en un acta de muestreo (ver Apéndice D).
5. Se analizaron las muestras, sometiendo los filtros durante 24 horas a una temperatura de 25 °C y a una humedad relativa de  $50 \pm 5\%$  antes de la pesada, anotando los pesos en el acta de toma de muestras correspondiente. Estos filtros se conservaron para casos que requirieron un posterior análisis
6. Se expresaron los resultados (tomando como ejemplo el trabajador del área de materia prima y producción) de la siguiente manera:

6.1 Para el cálculo del volumen aspirado se utilizó la Ec. (2.3) del método gravimétrico con los siguientes datos de caudal y tiempo:

$$V = 0,22 \text{ L/min} * 35 \text{ min} = 7,70 \text{ L}$$

6.2 De igual forma para el cálculo de la concentración se utilizó la Ec. (2.4) del mismo método gravimétrico:

$$C = \frac{(25,99\text{mg} - 23,60\text{mg})}{7,70\text{L}} * \frac{1\text{L}}{1 \times 10^{-3} \text{m}^3} = 3,104 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

Los pasos 6.1 y 6.2 se repitieron tres (3) veces más, debido a que para cada trabajador se le practicaron cuatro (4) muestras de tiempo y caudal (ver Apéndice C), por ende se obtuvieron el mismo número de volumen y concentración. Para así poder desarrollar el paso 6.3 del cálculo de exposición.

6.3 La exposición (E) en cada punto donde se tomó la muestra se calculó con la Ec. (2.5) del método gravimétrico, quedando de la siguiente manera:

$$E = \frac{(35 * 3,104) + (30 * 2,611) + (28 * 3,59) + (33 * 2,97)}{126} * \frac{\text{min} * \text{mg}}{\text{min} * \text{m}^3}$$

$$\mathbf{E = 3,06 \text{ mg/m}^3}$$

Estos cálculos se repitieron para cada uno de los trabajadores presentes en las áreas de trabajos estudiadas: área de granulado, área de lavado, área de secado y cribado, área de materia prima y producción, área de materia prima y almacenaje, área de los equipos de pesado y el área del taller mecánico.

Las Tablas 3.1 y 3.2, muestran la medición del polvo suspendido para el operador del área de materia prima y producción, y el operador del área de lavado, respectivamente. El resto de los resultados se presentan en las Tablas del Apéndice C.

Para el operador del área de materia prima y producción se obtuvo un valor de exposición de  $3,06 \text{ mg/m}^3$ , estando éste ligeramente por encima de la concentración ambiental permisible (CAP) de  $3 \text{ mg/m}^3$  distada por la norma COVENIN 2253:2001 “Concentraciones Ambientales Permisibles de Sustancias Químicas en Lugares de Trabajo e Índice Biológico de Exposición”. Cabe destacar que la CAP, es un valor de la concentración promedio ponderada en el tiempo a las que se cree puede estar expuesto un trabajador, repetidamente durante ocho (8) horas diarias y cuarenta (40) horas semanales sin sufrir daños adversos a su salud.

### **3.4 Análisis granulométrico**

Consistió en someter una porción de muestra de polvo a un ensayo de tamizado manual, con el propósito de determinar la distribución de los tamaños de las partículas que las constituyen, el procedimiento se realizó de la siguiente manera:

1. Se colectó una cantidad de polvo considerable del área en estudio.
2. Se pesó la muestra en una balanza digital, tomando como base 400 g.
3. Se armó el juego de tamiz.
4. Se colocó la muestra en el juego tamiz y se procedió a la agitación de forma manual hasta lograr la mayor filtración.
5. Se pesó el contenido de muestra retenido en cada tamiz y el depositado en la bandeja receptora.

**Tabla 3.1. Medición del polvo suspendido para el operador del área de materia prima y producción**

Hora Inicial	Hora Final	Tiempo de toma de muestra (min)	Caudal Indicado (L/min)	Peso Inicial (mg)	Peso Final (mg)	Cantidad de Muestra (mg)	Caudal Real (L/min)	Volumen (L)	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )	Producto (mg/m <sup>3</sup> )	Tiempo (min)	Exposición
8:20	8:55	0:35	1,5 a 2	23,6	25,99	2,39	0,22	7,700	3,104	108,636	35	3,06
10:37	11:07	0:30	1,5 a 2	24,7	26,11	1,41	0,18	5,400	2,611	78,333	30	
20:00	20:28	0:28	1,5 a 2	26,5	28,41	1,91	0,19	5,320	3,590	100,526	28	
1:05	1:38	0:33	1,5 a 2	25,4	27,01	1,96	0,2	6,600	2,970	98,000	33	

**Tabla 3.2. Medición del polvo suspendido para el operador del área de lavado**

Hora Inicial	Hora Final	Tiempo de toma de muestra (min)	Caudal Indicado (L/min)	Peso Inicial (mg)	Peso Final (mg)	Cantidad de Muestra (mg)	Caudal Real (L/min)	Volumen (L)	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )	Producto (mg/m <sup>3</sup> )	Tiempo (min)	Exposición
8:45	9:18	0:33	1,5 a 2	24,5	26,39	1,89	0,31	10,230	1,848	60,968	33	1,94
10:20	10:49	0:29	1,5 a 2	25,2	26,98	1,78	0,38	11,020	1,615	46,842	29	
15:25	15:55	0:30	1,5 a 2	26,5	28,45	1,95	0,32	9,600	2,031	60,938	30	
2:15	2:46	0:31	1,5 a 2	24,8	26,77	1,97	0,28	8,680	2,270	70,357	31	

### 3.4.1 Determinación de la granulometría

El porcentaje del material retenido en cada tamiz se evaluó con la Ec. (2.2).

Para una cantidad de 16,233 g de material retenido en el tamiz con una abertura de malla de 400 mesh, se tiene:

$$X_i = \frac{16,233g * 100}{400g} = 4,06\%$$

De esta misma forma se realizaron los cálculos de material retenido para los tamices restantes.

Tamiz 520 mesh , mi = 35,24 g:

$$X_i = \frac{34,24g * 100}{400g} = 8,81\%$$

Tamiz 585 mesh, mi = 69,76 g:

$$X_i = \frac{69,76g * 100}{400g} = 17,44\%$$

Tamiz 660 mesh, mi = 197 g:

$$X_i = \frac{197g * 100}{400g} = 49,25\%$$

Envase, mi = 66,0 g:

Los resultados y análisis de este ensayo se encuentran en la Tabla 4.1 del Capítulo 4.

### **3.5 Impacto ambiental del Sistema actual de captación de polvo de la planta de Granulados NPK del Complejo Petroquímico Morón**

La Planta de Granulados NPK constituye una fuente fija de contaminación atmosférica, entiéndase esta como una “Edificación o instalación existente en un sitio dado, temporal o permanente, donde se realizan operaciones que dan origen a la emisión de contaminantes del aire” según el Decreto N° 638 de fecha 26 de abril de 1995 sobre Normas de Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica, debido a las grandes emisiones de polvo que se producen en dicha planta. Se considera al polvo como un contaminante del aire, ya que éste es capaz de modificar los constituyentes naturales de la atmósfera, pudiendo alterar sus propiedades físicas o químicas y cuya concentración y período de permanencia en la misma pueda originar efectos nocivos sobre la salud de las personas y/o trabajadores y el ambiente en general. Por ello se hace primordial el estudio del impacto ambiental para así evaluar las concentraciones ambientales permisibles de dicho contaminante (polvo) en las áreas de trabajo y el ambiente en general. Para esto se contó con la colaboración del Departamento de Higiene Ambiente y Seguridad Industrial (SHA), quienes son los encargados de realizar los análisis pertinentes en este caso y quienes suministraron los resultados que acarrearón los análisis de Concentración Ambiental Permisible (CAP) de Polvo en la Planta de Granulados NPK para el año 2007.

Es importante destacar que los estudios y análisis ambientales realizados por el departamento de SHA de la planta de Granulados NPK del Complejo Petroquímico Morón, se hicieron según la: Norma Venezolana COVENIN 2253:2001 sobre “Concentraciones Ambientales Permisibles de Sustancias Químicas en Lugares de Trabajo e Índices Biológicos de Exposición (3<sup>era</sup> Exposición)”, Norma Venezolana

COVENIN 3159:1995 (ISO 4226:1993) sobre “Calidad del aire. Aspectos Generales. Unidades de Medición” y el Decreto N° 638 “Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación atmosférica” las cuales se encuentran en el Apéndice F.

Para el estudio de este objetivo se analizaron siete (7) puestos de trabajos. Para cada puesto de trabajo se tomaron 4 muestras de polvo obteniéndose un promedio aritmético del mismo (P/ARIM), para luego calcular la desviación estándar (DSA) para cada puesto, luego se calculó el promedio geométrico (P/GEOM). Se tomaron en cuenta la concentración máxima y mínima para cada puesto de trabajo, verificando si la Concentración Ambiental Permisible (CAP) está dentro o fuera del valor establecido por la Norma Venezolana COVENIN 2253:2001 en su Tabla 1 acerca de Concentraciones Ambientales Permisibles de Sustancias Químicas, la cual indica que para Polvo Inhalable no debe superar  $3 \text{ mg/m}^3$  (en su página 17).

### **3.6 Caracterización del polvo suspendido**

La determinación de las características granulométricas del polvo suspendido se realizó con la finalidad de conocer la distribución del tamaño, su forma y densidad. Para lograrlo se realizó un ensayo de tamizado manual en el área de planta a una muestra de polvo proveniente de la sección del granulador. Este resultado será comparado con el obtenido en el laboratorio de proceso a una muestra de polvo tomada a la entrada del separador ciclónico de gas-polvo SC-501. Estos resultados se muestran en la Tabla 4.2 del Capítulo 4.

Para este ensayo de tamizado manual, realizado a la muestra obtenida del área de granulación, se determinó el tamaño de las partículas, el peso de la fracción retenida en el tamiz y el porcentaje de material retenido en cada uno de los tamices y cuyos resultados se muestran en la tabla 4.1 del Capítulo 4.

### 3.7 Determinación de las velocidades de control o captura

La velocidad de captura es una de las variables necesarias para la determinación del caudal aspirado por una campana. Es por ello que se determinan con la Tabla (2.2), los valores recomendados de velocidades de control o de captura, donde se especifica la condición de dispersión del contaminante para luego definir el rango de velocidad de control. Una vez definido el rango, se debe seleccionar el valor adecuado dependiendo de los siguientes factores: toxicidad del contaminante, tamaño de la campana, nivel de producción del contaminante, entre otros.

Para este estudio, la condición de dispersión del contaminante, es la de generación activa en una zona de rápido movimiento, como por ejemplo: carga y descarga de cintas transportadoras, obteniéndose así un rango de velocidad de control de 1,0 – 2,5 m/s. Se seleccionó el valor de 2,5 m/s, ya que presenta alta toxicidad, es de gran producción e uso continuo, y campanas relativamente pequeñas, únicamente de control local (ver Tabla 2.2).

### 3.8 Determinación de la velocidad de transporte

Para seleccionar la velocidad de transporte se utilizó la norma COVENIN 2250-2000, (1<sup>ra</sup> revisión) de “*ventilación de los lugares de trabajo*” donde se especifica según: la naturaleza del contaminante, el intervalo de velocidades adecuado para este proyecto. Específicamente en la Tabla 2.3 se puede decir que la naturaleza del contaminante es el de los polvos industriales típicos, seleccionando así el intervalo de 18 - 20 m/s. De aquí se escogió el valor de 18 m/s el cual garantiza el arrastre de las partículas de polvo en el sistema y a su vez ese valor será comparado con las velocidades obtenidas en la simulación realizada por el PIPEPHASE 9.0, para poder implementar las mejoras en el rediseño de los sistemas de captación.

### 3.9 Montaje de los sistemas de captación de polvo actual en el programa computacional PIPEPHASE 9.0

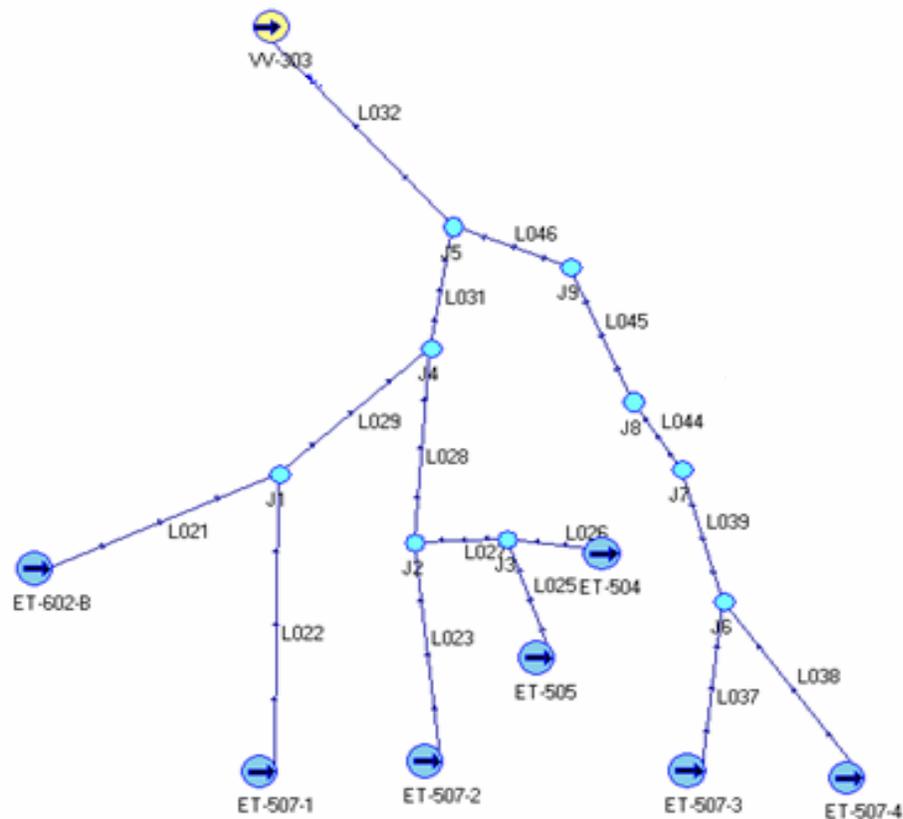
Para realizar el montaje de los sistemas se verificó la forma de los mismos por medio de los planos isométricos 356-A-3-00952 y 356-A-3-00954, que se encuentran en el Apéndice E. En esta serie de planos se constataron longitudes y diámetros de tuberías. Una vez constatadas las dimensiones se procedió a introducir tales valores en el programa, considerando también los accesorios que dan conexión a las tuberías que se iban formando, para luego realizar la simulación, y una vez que converjan los resultados, el programa arroje su reporte. Se verificó así presiones, caudales y velocidades (ver Fig. 3.13).

	Device Name	Data Entry Window	On?	Length (ft)	Elevation Change (ft)	MWD (ft)	Depth (ft)
0	ET-5	Source					
1	P002	Pipe	✓	1,00	1,00		
2	V02	Valve	✓				
3	P004	Pipe	✓	7,30	7,30		
4	B2	Bend	✓				
5	P006	Pipe	✓	2,10	2,10		
6	B007	Bend	✓				
7	P008	Pipe	✓	4,92	4,92		
8	B009	Bend	✓				
9	P010	Pipe	✓	10,89	10,89		

**Figura 3.13. Ventana de introducción de datos del PIPEPHASE 9.0.**

También es de suma importancia resaltar, que uno de los datos primordiales para efectuar la simulación, fue el caudal del ventilador, para el cual se usó el valor de 110000 m<sup>3</sup>/h (30,55 m/s), que proviene de las características de diseño suministradas por la gerencia técnica de proceso del complejo petroquímico.

La Fig. 3.14 muestra el diagrama del montaje de las líneas de tuberías en el programa PIPEPHASE 9.0.



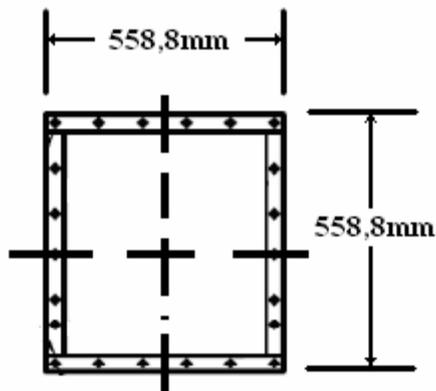
**Figura 3.14. Montaje de las líneas de tuberías en PIPEPHASE**

### **3.10 Determinación del caudal de aspiración para las campanas captadoras del sistema original**

El caudal de aspiración de las campanas que conforman el sistema se rige por la Ec. (2.7). Como se sabe, el sistema original consta de quince (15) campanas, a las cuales se le determinaron las áreas por medio de los planos isométricos. Debido a que las campanas se encuentran montadas sobre cintas transportadoras, se realizó el cálculo de los caudales según la clasificación de las cintas transportadoras.

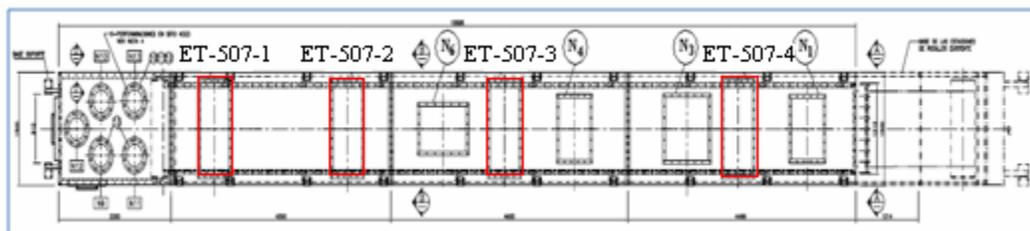
➤ **PARA LA CINTA TRANSPORTADORA ET-507**

Sobre la cinta transportadora ET-507 se encuentran 4 campanas captadoras de polvo y cuyas dimensiones son las siguientes:



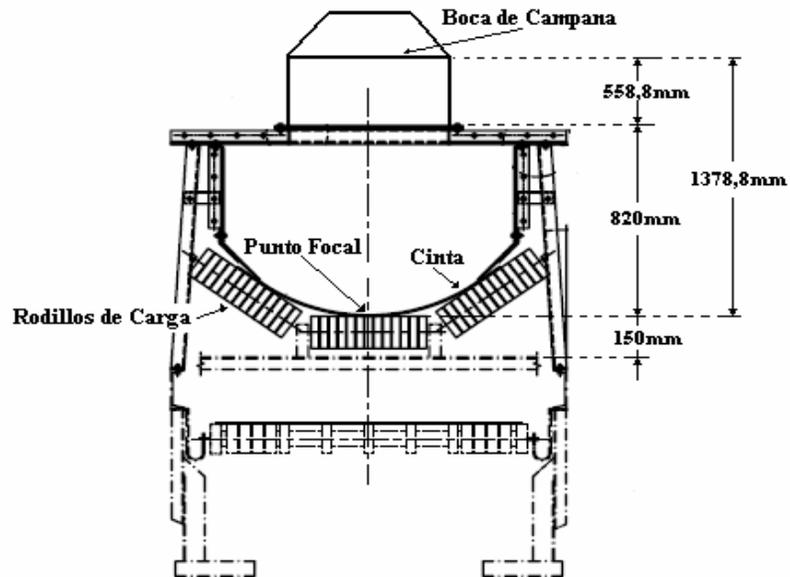
**Figura 3.15. Vista de planta de la boca de la campana.**

Como las campanas que se encuentran sobre la cinta ET-507 poseen las mismas dimensiones (ver Fig. 3.15), se obtiene la siguiente área:  $A = 0,312 \text{ m}^2$



**Figura 3.16. Tomas de aspiración sobre la cinta ET-507 (vista de planta)**

En cuanto a las distancias del punto focal a la boca de las campanas en la cinta ET-507, se puede decir que son las mismas para las 4 campanas que se encuentran en la cinta, las cuales se pueden verificar en la Fig. 3.16.



**Figura 3.17. Sección transversal de la cinta ET-507**

Esta distancia fue de 0,59 m. Una vez determinadas las distancias y teniendo la velocidad de control o captura de 2,5 m/s seleccionada en la sección 2.12.2, se utilizó la Ec. (2.7), que determinó el caudal de aspiración de la campana.

$$Q_{ET-507} = 2,5 \text{ m/s} * (10 * 0,348 \text{ m}^2 + 0,312 \text{ m}^2) = 9,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este valor será el mismo para todas las campanas presentes en la cinta transportadora ET-507.

De la misma manera se calcularon los caudales de aspiración del resto de las campanas, (ver Apéndice C.2), los cuales se expresan en la Tabla 3.7

**Tabla 3.4. Caudales de aspiración del sistema original**

<b>Campanas</b>	<b>Caudales (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Caudales (MMm<sup>3</sup>/h)</b>
<b>ED-501 A</b>	4,8	0,017
<b>ED-501 B</b>	4,8	0,017
<b>ED-501 C</b>	4,8	0,017
<b>ET-502</b>	4,1	0,015
<b>ET-503 A</b>	4,1	0,015
<b>ET-503 B</b>	4,1	0,015
<b>ET-504</b>	4,8	0,017
<b>ET-505</b>	5,8	0,021
<b>ET-507-1</b>	9,5	0,034
<b>ET-507-2</b>	9,6	0,035
<b>ET-507-3</b>	9,6	0,035
<b>ET-507-4</b>	9,6	0,035
<b>ET-602 B</b>	4,6	0,016
<b>ET-602 A</b>	5,6	0,020
<b>ET-603</b>	3	0,011

La sumatoria de los caudales de aspiración en el sistema original es mayor que el caudal de diseño del ventilador.

$$\Sigma Q_{\text{Sistema Original}} = 88,8 \text{ m}^3/\text{s} > Q_{\text{Ventilador}} = 30,55 \text{ m}^3/\text{s}$$

### **3.11 Determinación del caudal de aspiración para las campanas captadoras del sistema actual**

En el sistema actual se determinaron sólo los caudales de seis (6) campanas captadoras, ya que debido a las constantes mutilaciones y taponamientos, el sistema quedó con ese número de campanas. Estas campanas en este sistema fueron: ET-504, ET-505 y las cuatro (4) campanas de la ET-507. Como son las mismas campanas del sistema original, se puede decir que los caudales de estas fueron los mismos hallados

en el sistema original. Siempre y cuando corresponda a la misma cinta transportadora. En la Tabla 3.8 se muestran los caudales del sistema actual.

**Tabla 3.5. Caudales de aspiración del sistema actual**

<b>Campanas</b>	<b>Caudales (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Caudales (MMm<sup>3</sup>/día)</b>
<b>ET-504</b>	4,8	0,017
<b>ET-505</b>	5,8	0,021
<b>ET-507-1</b>	9,5	0,034
<b>ET-507-2</b>	9,6	0,035
<b>ET-507-3</b>	9,6	0,035
<b>ET-507-4</b>	9,6	0,035

La sumatoria de los caudales de aspiración en el sistema actual es mayor que el caudal de diseño del ventilador.

$$\Sigma Q_{\text{Sistema Actual}} = 48,9 \text{ m}^3/\text{s} > Q_{\text{Ventilador}} = 30,55 \text{ m}^3/\text{s}$$

Es importante resaltar que, para ambos sistemas, tanto como para el original como para el actual, las sumatorias de los caudales de aspiración de las campanas son mayores que el caudal de diseño del ventilador, de allí la necesidad de colocar nuevos ventiladores.

### **3.12 Rediseño del sistema actual de captación de polvo**

En esta etapa del proyecto se compararon los caudales del sistema actual y original obtenido en la simulación, con los caudales de aspiración calculados con la Ec. (2.7). De igual forma se comparó la velocidad de transporte escogida en la norma COVENIN 2250-2000, con las velocidades obtenidas en la simulación. Todo esto con la finalidad de ajustar los diámetros de tuberías, ya que estos influyen directamente en los caudales y velocidades del sistema.

### 3.12.1 Validación de la red de tubería del sistema actual de captación

La validación de la red de tuberías del sistema actual se realizó con la finalidad de verificar los resultados obtenidos. Para ello se introdujeron al programa los caudales obtenidos de la Ec. (2.7), colocando en el sistema un nuevo ventilador, cuya capacidad fue de  $0.177 \text{ MMm}^3/\text{h}$ , que se origino de la suma de los caudales de las campanas que conformaron ese sistema. Posterior a la instalación del nuevo ventilador, se precedió al cálculo de la presión de salida del nuevo ventilador, utilizando nuevamente la herramienta computacional PIPEPHASE 9.0, obteniéndose una presión de 0,925 psig.

Una vez obtenida la presión de salida del ventilador, se calcula el diferencial de presión de dicho ventilador de la siguiente manera:

$$\Delta P_{\text{ventilador}} = P_{\text{salida}} - P_{\text{entrada}} = 0,925 \text{ psig} - (-7,802) \text{ psig} = 8,0925 \text{ psig}$$

Luego este diferencial de presión obtenido fue comparado con el diferencial de presión de diseño presente en la secc. 2.5 referente a las características de diseño del ventilador del sistema de captación de polvo.

$$\text{Dif } \Delta P = |\Delta P_{\text{ventilador de diseño}} - \Delta P_{\text{ventilador obtenido}}| = |7,735 - 8,0925| \text{ psig}$$

$$\text{Dif } \Delta P = 0,3575 \text{ psig}$$

Generándose así un error relativo de diferencia de presión del 4,62 %, quedando con esto validada la red de tubería del sistema actual, porque el error es  $< 5 \%$ .

Una vez realizada la validación, se procede al montaje y corrida de las nuevas redes de tuberías, tanto para el sistema actual como para el original, no antes sin

estimar los nuevos diámetros usando la ecuación de continuidad planteada en la secc. 3.6, colocando el área en función del diámetro de la siguiente manera:

$$D = \sqrt{\frac{Q * 4}{V * \pi}} \quad (3.1)$$

$$D = \sqrt{\frac{9,5 \frac{m^3}{s} * 4}{22 \frac{m}{s} * 3,1415}} = 0,741m \rightarrow (29,2 \text{ pulg})$$

Aplicación de la Ec. 3.1 se generó la Tabla 3.9 de estimación de diámetros para el sistema actual de captación de polvo, donde se compara los diámetros de las líneas de tuberías viejos, es decir los leídos inicialmente en los planos, con los estimados por la Ec. 3.1.

**Tabla 3.6. Estimación de los diámetros de las líneas del sistema actual**

Líneas	Estimados		Actuales
	Diámetro (m)	Diámetro (pulg)	Diámetro (pulg)
507-1	0,741	29,2	10
507-2	0,747	29,4	10
507-3	0,747	29,4	10
507-4	0,747	29,4	10
504	0,526	20,7	12
505	0,582	22,9	10
J1-J4	0,897	35,3	12
J3-J2	0,782	30,8	12
J2-J4	1,083	42,7	14
J4-J5	1,406	55,4	18
J6-J7	1,061	41,8	12
J7-J8	1,312	51,6	16
J8-J9	1,506	59,3	20

En la Tabla 3.10, refleja el porcentaje de error relativo entre los caudales del sistema actual y los obtenidos por PIPEPHASE al igual que sus comparaciones.

Después de las comparaciones de caudales se procedió a comparar las velocidades de transporte obtenidas por PIPEPHASE y la velocidad de transporte de la norma. Dichas comparaciones se encuentran en las Tablas 3.11.

**Tabla 3.7. Porcentaje de error relativo de los caudales del sistema actual y los del PIPEPHASE.**

Campanas	Sistema Actual		Pipephase	% Error relativo
	Caudales (m <sup>3</sup> /s)	Caudales (MMm <sup>3</sup> /día)	Caudales (MMm <sup>3</sup> /día)	
<b>ET-504</b>	4,8	0,413	0,408	1,2
<b>ET-505</b>	5,8	0,505	0,504	0,2
<b>ET-507-1</b>	9,5	0,819	0,816	0,37
<b>ET-507-2</b>	9,6	0,832	0,84	0,96
<b>ET-507-3</b>	9,6	0,832	0,84	0,96
<b>ET-507-4</b>	9,6	0,832	0,84	0,96

**Tabla 3.8. Porcentaje de error relativo entre las velocidades críticas de transporte obtenidas por PIPEPHASE y la de la norma COVENIN 2250-2000 para el sistema actual**

Línea	Pipephase		Norma	% Error relativo
	Vel. Transporte (pie/s)	Vel. Transporte (m/s)	Vel. Transporte (m/s)	
22	75,20	22,92	18-20	12,74
23	76,36	23,27	18-20	14,05
25	74,78	22,79	18-20	12,24
26	74,08	22,58	18-20	11,43
27	74,80	22,80	18-20	12,28
28	75,11	22,89	18-20	12,63
29	75,19	22,92	18-20	12,74
31	75,51	23,02	18-20	13,12
32	76,01	23,17	18-20	13,68
37	76,36	23,27	18-20	14,05
38	76,36	23,27	18-20	14,05
39	75,54	23,02	18-20	13,12
44	75,54	23,02	18-20	13,12
45	75,54	23,02	18-20	13,12
46	75,54	23,02	18-20	13,12

Una vez comparados los caudales y las velocidades de transporte para cada sistema, se modificaron los diámetros de los ductos del sistema actual, teniendo en cuenta el cumplimiento de la norma COVENIN 2250-2000, en cuanto a la velocidad de transporte. Se fue verificando línea por línea hasta que las velocidades de transporte estuvieran próximas o en el rango escogido.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 4.1 Medición del Polvo Suspendido

En la medición del polvo suspendido se pudo observar, que el puesto de trabajo del operador del área de materia prima y del operador del área de la sección del granulador, son los que presentan concentraciones ambientales permisibles (CAP) fuera del límite estipulado por la norma COVENIN 2253-2001. Con valores de  $3,03 \text{ mg/m}^3$  para el operador del área de materia prima y  $3,43 \text{ mg/m}^3$  para el operador de la sección del granulador, siendo  $3 \text{ mg/m}^3$  el valor estipulado por la norma. Valores que eran de esperarse, ya que es en éstas áreas donde se visualiza mayor emisión de contaminantes (ver Fig. 4.1).



**Figura 4.1. Emisión de polvo a la salida del granulador TR-201**

## 4.2 Granulometría y caracterización

De la Tabla 4.1 se puede observar que el mayor porcentaje de material retenido se encuentra en el tamiz con una abertura de malla de 660 mesh, cuyo porcentaje fue de 49,25%, con un tamaño de partícula de 15 $\mu$ m. También se puede apreciar un porcentaje mayor al 17% en el tamiz de 585 mesh con un tamaño de partícula de 21  $\mu$ m. Es importante recalcar que a medida que aumenta el número de mesh del tamiz, (número de orificios que contiene el tamiz) se aumenta el porcentaje de material retenido. Ya que el área de los orificios del tamiz es cada vez más pequeña. El porcentaje más bajo de material retenido en este ensayo se observó en el tamiz de 465 mesh, con un valor de 3,92%.

**Tabla 4.1. Características Granulométricas mediante el ensayo por tamizado**

Muestra	Tamiz	Peso de la Fracción mi (g)	Porcentaje Retenido Xi (%)	Tamaño de la Partícula ( $\mu$ m)
Mt=400g	400 mesh	16,233	4,06	38
	465 mesh	15,693	3,92	32
	520 mesh	35,24	8,81	27
	585 mesh	69,76	17,44	21
	<b>660 mesh</b>	<b>197</b>	<b>49,25</b>	<b>15</b>
	Envase	66,07	16,52	↓15

En la Tabla 4.2 se muestra algunas de las características de la corriente aire-polvo en el separador de ciclón gas sólido SC-501, que junto con el diámetro de la partícula (14 $\mu$ m), el peso, y la forma (redondeada), determinan las características básicas del mismo.

**Tabla 4.2. Características de la corriente de aire-polvo en el separador de ciclón gas-sólido SC-501.**

<b>Características</b>	<b>descripción</b>	<b>Unidades</b>
Flujo de aire (Q): 1 separador de ciclón gas-sólido	225,1298	pie <sup>3</sup> /s
Flujo de aire total (Q <sub>T</sub> ): 2 separadores de ciclón gas-sólido	450,2596	pie <sup>3</sup> /s
Temperatura	40-60	°C
Densidad del gas ( $\rho$ )	0,075	lbm/pie <sup>3</sup>
Presión estándar	1	Atm
Viscosidad del gas ( $\mu$ )	(1,2096-1,2768)x10 <sup>-5</sup>	lb/pie*s
<b>Densidad partícula de polvo (<math>\rho_p</math>)</b>	<b>42,575 (*)</b>	<b>lbm/pie<sup>3</sup></b>
<b>Diámetro de la partícula (<math>d_p</math>)</b>	<b>14 (*)</b>	<b><math>\mu</math>m</b>
Capacidad de producción	1000-1200	TMD

**NOTA:** cuadro elaborado con información suministrada por PEQUIVEN. (\*) Realizada en laboratorio

Comparando el tamaño de partícula obtenido por el ensayo de tamizado manual y el obtenido en el laboratorio, de la muestra de aire-polvo proveniente del separador

ciclónico SC-501 (15 y 14  $\mu\text{m}$ , respectivamente), se puede decir que el porcentaje de diferencia entre el ensayo y el análisis es de 6,6%, debido a que estos valores son muy cercanos. Es relevante destacar que el ensayo por tamizado manual conlleva a más errores y por ende es mucho menos exacto que el realizado mediante equipos en un laboratorio, los cuales son mucho más precisos minimizando así los errores que se pueden cometer manualmente.

Estos resultados develan que gran parte de las partículas de polvo que se generan tanto en los alrededores del granulador como en el separador ciclónico gas-sólido SC-501, tienen un tamaño de partícula en un rango de 14 a 15  $\mu\text{m}$ .

#### **4.3 Establecimiento del impacto ambiental del sistema actual**

En la Tabla 4.3, se observan los valores de concentraciones ambientales permisibles de polvo tomados en los distintos puestos de trabajo y su clasificación según la norma COVENIN 2253:2001, según el Departamento de Seguridad, Higiene y Ambiente de la Planta de Granulados NPK del Complejo Petroquímico Morón. En la misma se evidencia que según la Norma COVENIN 2253:2001 los puestos que NO CUMPLEN con la Concentración Ambiental Permisible de 3  $\text{mg}/\text{m}^3$ , son los del Operador del Área de Granulación y el Operador del Área Materia Prima y Producción cuyos valores son de 3,352 y 3,264  $\text{mg}/\text{m}^3$  respectivamente. Las concentraciones en los otros puestos de trabajo cumplen con la norma con valores relativamente cercanos a 3  $\text{mg}/\text{m}^3$ , siendo el más alto el del operador de equipos pesados con un valor de 2,589  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Es importante destacar que el puesto de mecánico evaluado por último se encuentra al lado de la planta de Granulados N.P.K aproximadamente a 40 m de la misma, por lo que se evalúa para considerar las concentraciones de polvo en los alrededores de la planta, obteniendo un valor muy por debajo de los demás como se evidencia en dicha Tabla.

**Tabla 4.3. Concentraciones Ambientales Permisibles de Polvo tomados en los distintos puestos de Trabajo y Clasificación según la Norma COVENIN 2253:2001**

N° PUESTOS	MUESTRAS				P/ARIM	DSA x Puestos	P/GEOM	CLASIFICACION SEGÚN (CAP)
	1	2	3	4				
<b>Op. Granulado</b>	<b>3,686</b>	<b>3,391</b>	<b>3,111</b>	<b>3,245</b>	<b>3,358</b>	<b>0,2</b>	<b>3,352</b>	<b>NO CUMPLE</b>
<b>Op. Lavado</b>	<b>2,666</b>	<b>2,769</b>	<b>2,470</b>	<b>2,418</b>	<b>2,581</b>	<b>0,2</b>	<b>2,577</b>	<b>CUMPLE</b>
<b>Op. Sec/Crib</b>	<b>2,299</b>	<b>2,820</b>	<b>2,203</b>	<b>2,758</b>	<b>2,520</b>	<b>0,3</b>	<b>2,505</b>	<b>CUMPLE</b>
<b>Op. Mat P/P</b>	<b>3,231</b>	<b>3,352</b>	<b>3,069</b>	<b>3,413</b>	<b>3,266</b>	<b>0,2</b>	<b>3,264</b>	<b>NO CUMPLE</b>
<b>Op. Mat P/A</b>	<b>2,216</b>	<b>2,170</b>	<b>2,421</b>	<b>2,264</b>	<b>2,268</b>	<b>0,1</b>	<b>2,266</b>	<b>CUMPLE</b>
<b>Op. Eq Pesado</b>	<b>2,298</b>	<b>2,664</b>	<b>2,797</b>	<b>2,623</b>	<b>2,596</b>	<b>0,2</b>	<b>2,589</b>	<b>CUMPLE</b>
<b>Mecánico</b>	<b>2,183</b>	<b>2,208</b>	<b>2,494</b>	<b>2,171</b>	<b>2,264</b>	<b>0,2</b>	<b>2,260</b>	<b>CUMPLE</b>

Estos resultados reflejan el funcionamiento ineficiente del sistema de Captación de Polvo actual de la planta, debido a que hay valores fuera de la CAP o muy cercanos a éste, esto acarrea problemas ambientales y laborales, ya que al haber una concentración de polvo considerable en el ambiente de trabajo conlleva a que los trabajadores sufran enfermedades en el aparato respiratorio (asma ocupacional,

silicosis, neumoconiosis, alveolitis alérgica extrínseca, etc.); irritación en los ojos, piel y pulmones. Esto también conlleva, a que los trabajadores pierdan días de trabajo, lo que implica poca producción de fertilizante en la planta y por ende el incumplimiento de metas trazadas en cuanto a estándares de calidad y producción.

#### **4.4 Rediseño del sistema actual de captación de polvo**

Para el rediseño del sistema actual se consta con la selección de un nuevo ventilador cuyo flujo es de  $0,176 \text{ MMm}^3/\text{h}$  y un diferencial de presión de  $8,0925 \text{ psig}$ . De igual manera en la Tabla 3.10 se refleja el porcentaje de diferencia entre los caudales del sistema actual y los obtenidos mediante la simulación por pipephase, donde el mayor porcentaje de error relativo se puede observar en el caudal que se genera en la campana ET-504 con un valor de  $1,2\%$  y el mínimo en la campana ET-505 con un valor de  $0,2\%$ . Es de resaltar que ningún porcentaje excede el  $5\%$  queriendo decir con esto que el rediseño es viable con el nuevo ventilador y realizando los ajustes de diámetros obtenidos en la Tabla 3.9.

La línea que presenta un menor diámetro y por ende un menor caudal, es la que proviene de la campana ET-504, con un valor de  $20,7 \text{ pulg}$  de diámetro y un caudal de  $4,8 \text{ m}^3/\text{s}$ , de allí que en la Tabla 3.10 de porcentajes de errores relativos de caudales, se observe una diferencia del  $1,2\%$  para esa campana.

De igual manera en la Tabla 3.9 referente a la estimación de los diámetros de las líneas del sistema actual, se observa que el mayor diámetro se presenta en las líneas J8-J9, debido a que es más cerca al ventilador, ya que debe garantizar el movimiento de un gran caudal.

La Tabla 3.11 representa los porcentajes de error entre las velocidades críticas de transporte obtenidas por el PIPEPHASE y el rango de  $18\text{-}20 \text{ m/s}$  escogido en la

norma COVENIN 2250-2000 para el sistema actual. En la cual se observa que las líneas que presentan mayores velocidades de transporte son: la línea 23,37 y 38 que se generan de la cinta transportadora ET-507, con 23,27 m/s cada una, de allí que sea esta área donde se genera la mayor emisión de polvo, debido a que por ser la cinta matriz, es donde convergen las materia primas, material de reciclaje y todo los polvos que se puedan generar en el sistema. Seguidamente la línea 32 con 23,17 m/s que es la más cercana al ventilador, sin embargo, la línea que presenta menor velocidad de transporte es la 26 con 22,58 m/s. De igual forma se aprecia en la Tabla 3.11 que todos los porcentajes de error relativo se encuentran por encima del límite superior del rango escogido en la norma COVENIN 2250:2000 (20 m/s).

Estos valores garantizan el arrastre de las partículas de polvo evitando obstrucciones y taponamientos como se generaban anteriormente al rediseño (ver Fig. 4.2).



**Figura 4.2. Ducto del sistema actual obstruido**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

1. Los puestos de trabajos que no cumplen con la norma COVENIN 2253-2001, de concentraciones ambientales permisibles (CAP), son el del operador del área de granulación y el del área de materia prima y producción, debido a que es allí donde se evidencia mayor emisión de contaminantes.
2. Las CAP de polvo en la planta están fuera o muy cercana a la concentración máxima permisible, ya que el sistema de captación de polvo es poco eficiente.
3. En el análisis de granulometría se determinó que el diámetro de la partícula se encuentra dentro de un rango de (14-15)  $\mu\text{m}$  y cuya densidad es de 42,575  $\text{lbm/pe}^3$ . Estando este valor muy cercano a los valores obtenidos en el laboratorio.
4. En el ensayo por tamizado manual, el mayor porcentaje de material retenido se encuentra en el tamiz con una abertura de malla de 660 mesh, cuyo porcentaje fue de 49,25%.
5. Se propuso un (1) ventilador con las siguientes características para el sistema actual:  $Q = 0,176 \text{ MMm}^3/\text{h}$ ;  $\Delta P = 2,034 \text{ psig}$ ,
6. Las velocidades de transporte calculadas para el sistema actual están por encima de los valores recomendados por la norma COVENIN 2250-2000, garantizándose el arrastre de las partículas de polvo y evitando los taponamientos de los ductos.

7. La línea que presenta mayor porcentaje de error relativo en cuanto a velocidades de transportes para el sistema actual son: 22, 23, 37 y 38 que se generan de la cinta matriz ET-507.
8. El rediseño del sistema de captación de polvo actual, permitirá mejorar considerablemente las condiciones de trabajo, ya que las velocidades de transporte serán más cercanas a la de los límites establecidos en la norma COVENIN 2250-2000 disminuyendo los problemas de taponamientos y creando un mejor ambiente de trabajo.

## **5.2 Recomendaciones**

- Efectuar un plan de mantenimiento para la Planta de fertilizantes NPK, de manera que se cumpla con los requerimientos mínimos de inspección previstos en la norma COVENIN 2250-2000.
- Instalar más y mejores instrumentos que permitan el monitoreo del flujo de partícula en los ductos.
- Disminuir la distancia del punto focal a la boca de la campana para obtener una mejor captación del polvo.
- Evaluar periódicamente el sistema para proponer mejoras acordes a los aumentos de producción teniendo en cuenta las normas de diseños.

## BIBLIOGRAFIA

1. Norma Venezolana Covenin 2252 (1<sup>era</sup> Revisión). **Polvos, Determinación de la Concentración en el Ambiente de Trabajo ( 1998).**
2. Manual de Operaciones de la Planta de Fertilizantes granulados-Instalación 356-A-NPK-DAP. Morón (1982).
3. FELIX, R y EZEQUIEL, G. **Manejo de Materiales.** Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Métodos. (2007).
4. Diapositiva NPK adiestramiento
5. Cheremisinoff, P **Pollution Engineering Guide to Fine Particulate Control in Air Pollution**, by Pudvan Publishing (1988).
6. HOWARD, G y ESKO, T “Industrial Ventilation Design Guidebook”. Edited by Academy Press. Toronto, Canada (2001).
7. Norma Venezolana Covenin 2250 (1<sup>era</sup> Revisión). **Ventilación de Lugares de Trabajo (2000).**
8. CARRASCO, S. **Rediseño del Sistema de Aspiración en una Planta de Roca Parcialmente Acidulada** Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad de Carabobo. Valencia (2004).
9. Committee on industrial ventilation. **Industrial ventilation** (19<sup>a</sup> ed.). Michigan: Edwards brothers incorporated (1986).
10. RIVAS, N. **Estudio para el Diseño y Mejora del Sistema de captación de Polvo de una Planta de Fertilizantes Granulados.** Trabajo de Grado. Universidad de Yacambú. Barquisimeto (2004).
11. CARMONA, M. **Evaluación del Sistema de Desempolvado K8006 de la Planta Midrex II de (SIDOR CA) para la Aplicación de un Separador Seco.** Trabajo de Grado. Departamento de Mecánica. UDO. Puerto la Cruz (2006).

12. ORTA, M. **Diseño de un Succionador de Materia a Granel para el Área de Envarillado de la Planta de Carbón de C.V.G. Venalum.** Trabajo de Grado. Departamento de Mecánica. UDO. Puerto la Cruz (2007).
13. REYES, F. **Sistema de Extracción de Polvo Planta de Fertilizantes Granulados y Ensacado N.P.K- Estudio de Selección Proceso de Deshumidificación.** PEQUIVEN. Morón (2000).

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

<b>TÍTULO</b>	REDISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE POLVO DE LA PLANTA DE FERTILIZANTES GRANULADOS N.P.K DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO MORÓN
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
Figuroa Rodríguez Julio César	CVLAC: 14.685.455 E MAIL: jurito30@hotmail.com

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

Producción

Eficiencia

Complejo

Ductos

Proceso

Planta

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

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Mecánica

**RESUMEN (ABSTRACT):**

El Complejo Petroquímico Morón, específicamente en la planta de granulados N.P.K, se genera indeseablemente un polvo por efecto del mal funcionamiento del sistema de captación, por tal razón la planta cuenta con un sistema de captación de polvo que se encarga de eliminar el indeseable polvillo que se genera en la planta. Sin embargo, éste sistema actualmente no tiene el rendimiento ni la capacidad que en su momento tuvo, ya que se ha visto afectado por el aumento de producción y modificaciones arbitrarias en los ductos que en lugar de aumentar, disminuyeron la eficiencia del mismo. Por tal motivo, en el presente trabajo se realizó el rediseño del sistema de captación de polvo de acuerdo a las condiciones de operación actuales del proceso y cumpliendo con las norma COVENIN 2250-2000, (1<sup>ra</sup> resolución) de ventilación de los lugares de trabajo. Esto con la finalidad de mejorar las condiciones de trabajo en la planta y permitir que la mayoría del polvo generado sea captado por dicho sistema. Luego de evaluar y simular el sistema actual, con el programa computacional PIPEPHASE 9.0, considerando las emisiones y las características granulométricas del polvo, se obtuvieron resultados que permitieron rediseñar y mejorar el sistema actual de captación de polvo. Se propusieron alternativas para mejorar el rendimiento del sistema y solventar los problemas de taponamiento en las tuberías por la acumulación de materia prima y producto terminado de las mismas.

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

**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS (X)	TU	JU
Ayala Orlando	CVLAC:	11.420.758			
	E_MAIL	omayalah@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS (X)	TU	JU
Martínez Johnny.	CVLAC:	11.824.561			
	E_MAIL	johnnymartinr@hotmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU (X)
Edgar Rodriguez	CVLAC:	4.012.952			
	E_MAIL	rmedgar5@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU (X)

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

AÑO	MES	DÍA
2010	10	18

**LENGUAJE. SPA**

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

**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Sistema de captación de polvo.Doc	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:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

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

Ingeniero Mecánico  
\_\_\_\_\_

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pregrado  
\_\_\_\_\_

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de Mecánica  
\_\_\_\_\_

**INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente /Núcleo de Anzoátegui  
\_\_\_\_\_

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

**DERECHOS:**

De acuerdo con el Artículo 41 “Los Trabajos de Grado son de la exclusiva 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 notificará al Consejo Universitario”

Figuroa Rodríguez Julio César

**AUTOR**

Ayala Orlando

**TUTOR**

Martínez Johnny

**JURADO**

Edgar Rodriguez

**JURADO**

Suárez Diógenes

---

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**