

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



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ASPIRACIÓN PORTÁTIL DE UREA PARA  
LAS ÁREAS DE PRODUCCIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAJE  
EN EL SECTOR DE GRANULACIÓN DE LA PLANTA FERTINITRO  
C.E.C.**

**Presentado por:  
JONATHAN EMMANUEL NIGHTINGALE NOGUERA**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**BARCELONA, NOVIEMBRE DE 2010**

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



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ASPIRACIÓN PORTÁTIL DE UREA PARA  
LAS ÁREAS DE PRODUCCIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAJE  
EN EL SECTOR DE GRANULACIÓN DE LA PLANTA FERTINITRO  
C.E.C.**

**ASESORES**

---

**PROF. EDGAR RODRÍGUEZ**

**Asesor Académico**

---

**ING. ISRAEL BERMUDEZ**

**Asesor Industrial**

**BARCELONA, NOVIEMBRE DE 2010**

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



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ASPIRACIÓN PORTÁTIL DE UREA PARA  
LAS ÁREAS DE PRODUCCIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAJE  
EN EL SECTOR DE GRANULACIÓN DE LA PLANTA FERTINITRO  
C.E.C.**

**Jurado calificador:**

---

**PROF. EDGAR RODRÍGUEZ**

**Asesor Académico**

---

**PROF. SIMÓN BITTAR**

**Jurado principal**

---

**PROF. JOHNNY MARTÍNEZ**

**Jurado principal**

**BARCELONA, NOVIEMBRE DE 2010**

## RESOLUCIÓN



### ARTÍCULO 41 REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual lo notificará al Consejo Universitario”

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a mi padre Sr. Víctor Nightingale porque sé que aunque no esté conmigo, siempre me dio la fuerza para levantarme cuando decaí en los momentos difíciles. A mi madre la Sra. María Inocencia de Nightingale que siempre ha sido mi razón de ser y mi más preciado tesoro. Y personas que no puedo dejar de nombrar:

Mi novia Dessire Leañez

Mis hermanos:

Víctor.

Ylayaly.

Nathaly.

Abraham.

Mi tío Juan Nightingale.

Mi tía Eddit Nightingale.

Y mi amigo y hermano José Jesús Rodríguez.

A todos ellos mi eterno agradecimiento y dedicatoria.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias Dios por darme la fortaleza para emprender mis metas y el entendimiento suficiente para superar los obstáculos de mi carrera.

Gracias al departamento de confiabilidad de equipos rotativos y estáticos de la empresa Fertinitro C.E.C., en especial a los ingenieros Israel Bermúdez y Luis Centeno por todo el apoyo brindado. A mi asesor académico, el profesor Edgar Rodríguez por su paciencia y ayuda incondicional. Por último gracias al profesor Darwin Bravo, ayuda primordial para iniciar mi pasantía en la empresa Fertinitro, así como a todos mis amigos y al equipo ASME UDO Iván y David Velázquez por todos los buenos y malos momentos vividos juntos.

## RESUMEN

El presente trabajo se basó en el diseño de un sistema de aspiración portátil, el cual tiene como finalidad extraer las partículas de urea derramada del proceso de granulación y transporte de la empresa Fertinitro C.E.C., esto se hizo con la finalidad de disminuir los costos de mantenimiento y el tiempo empleado por los trabajadores para su recolección. Para realizar este diseño primero se hizo un estudio de la zona donde se presenta el problema y las propiedades de la urea a tratar a fin de seleccionar el sistema de separación a emplear. Una vez realizado esto se procedió a calcular cada uno de los parámetros necesarios para obtener la caída de presión del sistema y el volumen de urea a recolectar para luego seleccionar el tipo y la capacidad del ventilador, el cual resultó de tipo centrífugo fabricado por la empresa Euroventilatori Internacional serie APE tipo 711/A con capacidad de 16 m<sup>3</sup>/min y una potencia de 5,5 kw. Una vez conocidas las dimensiones y pesos de los separadores, las características del ventilador, se procedió a diseñar la plataforma necesaria para trasladar el equipo a las zonas donde se localiza el problema. Con este diseño de extracción de urea se espera solucionar los problemas de costos y de mantenimiento de este sector de la empresa, por el cual se realizó un análisis económico mediante el método de Valor Presente Neto (VPN) con una tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) de 32,8% y un periodo de 5 años, generando un VP = 232.159,63 Bs., lo que representa la rentabilidad del proyecto.

## NOMENCLATURA

- $F$  = Fuerza causante de la aceleración de la partícula, N (lbf).  
 $desf$  = Diámetro esférico equivalente de las partículas, m (pie).  
 $F_d$  = Fuerza de arrastre sobre la partícula, N (lbf).  
 $g$  = Fuerza de gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).  
 $g_c$  = Factor de conversión necesario para tener un sistema consistente de unidades ( $g_c = 1 \text{ kg m/s}^2$ ).  
 $C_D$  = Coeficiente de arrastre.  
 $u$  = Velocidad o velocidad media, m/s (pie/s).  
 $u_t$  = Velocidad terminal de una partícula en un fluido que cae libremente, m/s (pie/s).  
 $Re_{esf,t}$  = Número de Reynolds para la velocidad final de una partícula (esférica en este caso) que cae libremente.  
 $u_a$  = Velocidad del aire, m/s (pie/s).  
 $u_s$  = Velocidad de las partículas sólidas, m/s (pie/s).  
 $\Delta p_1$  = Caída de presión ocasionada por fricción del gas en tuberías, Pa ( $\text{Lbf/pie}^2$ ).  
 $\Delta p_2$  = Caída de presión ocasionada por accesorios en el sistema, Pa ( $\text{lbf/pie}^2$ ).  
 $\Delta p_3$  = Caída de presión debido al roce de sólidos en la tubería, Pa ( $\text{lbf/pie}^2$ ).  
 $\Delta p_4$  = Caída de presión debido a la aceleración de la partícula, Pa ( $\text{lbf/pie}^2$ ).  
 $\Delta p_5$  = Caída de presión originada por la aceleración de la partícula sólida, Pa ( $\text{lbf/pie}^2$ ).  
 $\Delta p_6$  = Caída de presión producida en el separador ciclónico.  
 $D_{corte}$  = Diámetro de partícula para el que la curva de eficiencia tiene un valor del 50 %.  
 $D_{part}$  = Diámetro de la partícula.  
 $W_i$  = Ancho de la entrada al ciclón, m (pie).

- $N$  = Número de vueltas que el gas realiza alrededor del ciclón antes de que salga del área de captura.
- $\Delta p_{\text{ciclón}}$  = Caída de presión producida en el separador ciclónico.
- $\Delta p_{\text{filtro}}$  = Caída de presión en el filtro de cartucho, Pa (lbf/pie<sup>2</sup>).
- $L$  = Longitud, m (pie).
- $f$  = Factor de fricción.
- $D$  = Diámetro de la ductería, m (pie).
- $K$  = Coeficiente de pérdidas por accesorio.
- $I$  = Momento de inercia, m<sup>4</sup> (plg<sup>4</sup>).
- $S_y$  = Esfuerzo de fluencia, Pa (Psi).
- $A_p$  = Área transversal del pasador, m<sup>2</sup> (plg<sup>2</sup>).

### **Símbolos griegos**

- $\rho_g$  = Densidad del fluido, kg/m<sup>3</sup> (slug/pie<sup>3</sup>).
- $\rho_s$  = Densidad del sólido, kg/m<sup>3</sup> (slug/pie<sup>3</sup>).
- $\mu$  = Viscosidad dinámica, N.s/m<sup>2</sup> (lbf.s/pie<sup>2</sup>).
- $\gamma$  = Peso específico del fluido, N/m<sup>3</sup> (lbf/pie<sup>3</sup>).
- $\sigma$  = Esfuerzo normal, Pa (psi).
- $\tau$  = Esfuerzo cortante, Pa (psi).

## CONTENIDO

	Pag.
<b>RESOLUCIÓN</b> .....	iv
<b>DEDICATORIA</b> .....	v
<b>AGRADECIMIENTOs</b> .....	vi
<b>RESUMEN</b> .....	vii
<b>NOMENCLATURA</b> .....	viii
<b>CONTENIDO</b> .....	x
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	xiv
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	3
<b>EL PROBLEMA</b> .....	3
<b>1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA</b> .....	3
1.1.1 Tipos de Productos y Servicios Elaborados .....	4
1.1.2 Visión .....	4
1.1.3 Misión.....	4
<b>1.2 ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	5
1.2.1 Ubicación geográfica .....	5
1.2.2 Descripción del área de estudio .....	5
<b>1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	6
<b>1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	8
1.4.1 Objetivo general.....	8
1.4.2 Objetivos específicos .....	8
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	9
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	9
<b>2.1 ANTECEDENTES</b> .....	9

2.2 DEFINICIÓN Y PROPIEDADES PRINCIPALES DE LA UREA.....	10
2.2.1 Urea .....	10
2.2.2 Propiedades.....	10
2.3 EFECTO DE PARTÍCULAS SÓLIDAS EN LOS FLUIDOS.....	11
2.3.1 Velocidad terminal de sedimentación.....	12
2.3.2 Velocidad de partículas sólidas.....	16
2.3.3 Diámetro esférico equivalente de una partícula.....	17
2.4 CAÍDA DE PRESIÓN DE FLUJOS CON PARTÍCULAS .....	17
2.4.1 Caída de presión ocasionada por fricción del gas en tuberías.....	17
2.4.2 Caída de presión ocasionada por accesorios en el sistema .....	18
2.4.3 Caída de presión debido al roce de sólidos en la tubería .....	19
2.4.4 Caída de presión debido a la aceleración de la partícula .....	19
2.4.5 Caída de presión debido a la elevación de la partícula .....	20
2.4.6 Caída de presión en los codos de la tubería ocasionadas por las partículas sólidas.....	20
2.5 SEPARADORES CICLÓNICOS .....	21
2.5.1 Funcionamiento .....	21
2.5.2 Tipos.....	23
2.5.3 Eficiencia y pérdida de carga.....	24
2.6 VENTILADORES .....	26
2.6.1 Ventiladores centrífugos.....	27
2.6.2 Ventiladores axiales.....	29
2.6.3 Influjo de la variación de la densidad del gas en el comportamiento de los ventiladores... 30	
2.7 SISTEMAS DE SEPARACIÓN.....	31
2.7.1 Filtros de aire.....	31
2.7.2 Filtros húmedos .....	31
2.7.3 Filtros secos .....	32
2.7.4 Separadores de polvo.....	32
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>34</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>34</b>
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	34
3.2 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN .....	34

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	34
3.4 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
3.4.1 Revisión bibliográfica.....	35
3.4.2 Descripción del proceso de obtención de urea.....	35
3.4.2.1 Obtención de CO <sub>2</sub> .....	37
3.4.2.2 Obtención de amoníaco.....	37
3.4.2.3 Formación del carbamato.....	38
3.4.2.4 Descomposición del carbamato.....	38
3.4.2.5 Síntesis de urea.....	38
3.4.2.6 Granulación.....	39
3.4.3 Evaluación de las zonas críticas.....	39
3.4.4 Estudio de las propiedades de la urea.....	42
3.4.5 Evaluación de las condiciones operativas.....	43
3.4.6 Selección del sistema de extracción y filtrado.....	44
3.4.7 Cálculos del sistema de aspiración.....	47
3.4.8 Selección del ventilador.....	48
3.4.9 Diseño de la plataforma móvil.....	48
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>48</b>
<b>DESARROLLO DEL TRABAJO.....</b>	<b>48</b>
4.1 RUTAS CRÍTICAS PARA CADA UNA DE LAS ZONAS.....	48
4.1.1 Plata baja del edificio de granulación (Zona N° 1).....	48
4.1.2 Galería de la cinta transportadora (Zona N° 2).....	49
4.2 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS.....	49
4.2.1 Velocidad de sedimentación de la partícula.....	51
4.3 CÁLCULO DE LA BOQUILLA.....	54
4.4 ESTUDIO DE CAÍDA DE PRESIÓN.....	57
4.4.1 Evaluación de la Zona N° 1.....	57
4.4.2 Evaluación de la Zona N° 2.....	61
4.5 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL SEPARADOR CICLÓNICO.....	62
4.6 SELECCIÓN DEL VENTILADOR.....	63
4.7 DISEÑO DEL COLECTOR DE POLVO.....	63

4.8 DISEÑO DE LA PLATAFORMA MOVIL .....	65
4.9 ANÁLISIS ECONÓMICO .....	76
4.9.1 Inversión inicial .....	76
4.9.2 Costos para establecer los flujos netos de caja (F.N.C.) .....	77
4.9.3 Diagrama de flujo de caja del proyecto. ....	78
4.9.4 Cálculo del valor presente neto (VPN). ....	79
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>80</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>80</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	80
5.2 RECOMENDACIONES .....	82
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>84</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Apéndice A .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
A.1. Ejemplo de cálculo.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
A.1.1. Caída de presión ocasionada por fricción del gas en tuberías de la zona N°1.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
A.1.2. Caída de presión ocasionada por accesorios en el sistema.¡Error! Marcador no definido.	
A.1.3. Caída de presión debido al roce de sólidos en la tubería ...¡Error! Marcador no definido.	
A.1.4. Caída de presión debido a la aceleración de la partícula...¡Error! Marcador no definido.	
A.1.5. Caída de presión originada por la elevación de la partícula sólida ... ¡Error! Marcador no definido.	
<b>definido.</b>	
A.1.6. Caída de presión en los codos de la tubería ocasionadas por las partículas sólidas ..¡Error!	
<b>Marcador no definido.</b>	
A.1.7. Caída de presión en el separador ciclónico .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
C.1. Tablas y figuras .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
D.1. Planos del sistema.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pag.
<b>Tabla 2.1 Propiedades de la urea [5].</b> .....	<b>10</b>
<b>Tabla 3.1. Características de las partículas de urea [12].</b> .....	<b>43</b>
<b>Tabla 4.1. Longitudes de tramos de tubería en la zona N° 1 [14].</b> .....	<b>49</b>
<b>Tabla 4.2. Resultados del proceso iterativo para la obtención de <math>u_t</math>. [14].</b> .....	<b>53</b>
<b>Tabla 4.3. Resultado de la velocidad en la tubería [14].</b> .....	<b>57</b>
<b>Tabla 4.4. Resultado de la caída de presión por fricción en la zona N° 1. [14].</b> .....	<b>58</b>
<b>Tabla 4.5. Resultado de la caída de presión por accesorios en la zona N° 1. [14].</b> .....	<b>58</b>
<b>Tabla 4.6. Caída de presión originada por las partículas en la zona N° 1. [14].</b> .....	<b>58</b>
<b>Tabla 4.7. Resultados de las pérdidas en los tramos A y B. [14].</b> .....	<b>60</b>
<b>Tabla 4.8. Total de pérdidas generadas por el sistema en la Zona N° 1. [14].</b> .....	<b>61</b>
<b>Tabla 4.9. Resultado de la caída de presión por fricción en la zona N° 2. [14].</b> .....	<b>61</b>
<b>Tabla 4.10. Resultado de la caída de presión por accesorios en la zona N° 2. [14].</b> .....	<b>61</b>
<b>Tabla 4.11. Caída de presión originada por las partículas en la zona N° 2. [14].</b> .....	<b>61</b>
<b>Tabla 4.12. Total de pérdidas generadas por el sistema en la Zona N° 2 [14].</b> .....	<b>62</b>
<b>Tabla 4.13. Descripción de la inversión inicial. [14].</b> .....	<b>76</b>
<b>Tabla 4.14. Proyección de pagos a los empleados. [14].</b> .....	<b>78</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1. La participación Accionaria, [12]. .....	3
Figura 1.2. Ubicación de la empresa Fertilizantes Nitrogenados de Venezuela C.E.C dentro del área asignada a Pequiven en el Condominio de JOSE. ....	5
Figura 1.3. Organigrama Gerencia de Confiabilidad de la empresa Fertinitro. ....	6
Figura 2.1. Pelota de golf a través de un fluido [6].....	11
Figura 2.2. Factor de fricción o coeficiente de rozamiento en función al número de Reynolds terminal para partículas que caen a través de un fluido [6]. ....	16
Figura 2.3. Producto entre el coeficiente de rozamiento y número de Reynolds en función del número Reynolds [6]. ....	16
Figura 2.4. Funcionamiento del separador ciclónico [13]. ....	22
Figura 2.5. Tipos de ciclones [8].....	24
Figura 2.6. Ventilador de baja presión de rodete tipo tambor de 500mm de diámetro para 8000 m <sup>3</sup> /h, 720 rpm y 5mbar de presión [7].....	28
Figura 2.7. Ventilador de alta presión para 2950 rpm para un caudal de 16000 m <sup>3</sup> /h y una presión de 70 mbar, con un diámetro exterior de rodete de 500 mm [7]. .....	29
Figura 2.8. Ventilador axial de aire para ventilación de minas para 2900 rpm y elevado rendimiento (80 %) [10].....	30
Figura 2.9. Filtro húmedo [10].....	32
Figura 2.10. Filtro seco [13]. ....	32
Figura 2.11. Separador de polvo por fuerza centrífuga [8]. ....	33
Figura 3.1. Diagrama de proceso de formación de urea [12]. ....	36
Figura 3.2. Etapas de obtención de amoníaco [12].....	37

Figura 3.3. Vista de encima de la planta baja del edificio de granulación [12].	39
Figura 3.4. Vista lateral del edificio de granulación [12].	40
Figura 3.5. Condiciones en que se encuentra las áreas de granulación (Zona N°1) [12]. .....	40
Figura 3.6. Vista de planta del recorrido de la cinta transportadora hasta el almacén [12].	41
Figura 3.7. Inicio de la galería de la cinta transportadora [12].	42
Figura 3.8. Separador ciclónico marca Donaldson Torit [13].	45
Figura 3.9. Colector de polvo [13].	46
Figura 3.10. Filtro Donaldson tipo Torit-Tex. [13].	47
Figura 4.1. Recorrido crítico de la ductería para la zona N° 1 [12].	48
Figura 4.2. Isométrico del recorrido crítico de la ductería para la zona N° [15].	49
Figura 4.3. Diagrama de flujo del proceso iterativo para hallar $u_t$ [14].	51
Figura 4.4. Tipos de boquillas o campanas de captación [10].	55
Figura 4.5. Características de la boquilla de aspiración. [15].	56
Figura 4.6. Posición de manejo del equipo. [16].	57
Figura 4.7. Tubería fabricada en poliuretano flexible con espiral de PVC rígido indeformable. [17].	57
Figura 4.8. Tramo entre el separador ciclónico y el colector de polvo con medidas en m. [15].	59
Figura 4.9. Tramo entre el colector de polvo y el ventilador. [15].	60
Figura 4.10. Configuración original del colector de polvo Downflo Oval 1-1. [13].	64
Figura 4.11. Nueva configuración del colector de polvo. [15].	64
Figura 4.12. Nueva configuración sencilla y compacta del colector de polvo. [15].	65
Figura 4.13. Configuración del sistema de aspiración sobre la plataforma. [15].	66

Figura 4.14. Ubicación del eje de las ruedas para $z = 0,664$ m. [15].	68
Figura 4.15. Sistema de eje sin freno para remolque de 550 kg. [18].	68
Figura 4.16. Dimensiones del sistema de eje sin freno para remolque. [18].	69
Figura 4.17. Visualización del mallado, restricciones y aplicación de cargas en la plataforma para la primera configuración. [15].	69
Figura 4.18. Desplazamiento estático de la primera configuración. [15].	70
Figura 4.19. Factor de seguridad del la primera configuración. [15].	70
Figura 4.20. Desplazamiento estático de la segunda configuración. [15].	71
Figura 4.21. Factor de seguridad de la segunda configuración. [15].	71
Figura 4.22. Apoyo de la plataforma. [15].	73
Figura. 4.23. Área mínima en el apoyo. [14].	75
Figura 4.24. Diagrama de flujo de caja del proyecto. [14].	79
Figura 4.25. Hoja de cálculo de Excel para obtener VNA. [14].	80

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad uno de los principales problemas en las industrias es debido a la acumulación de desperdicios como virutas, aserrín, papel, desechos textiles, polvo y hasta líquidos, o simples derrames de productos como granos, cereales, polímeros, entre otros. Esto es originado por la diversidad de procesos de manufactura, manejo de la materia prima o transporte del producto y es solucionado frecuentemente mediante la instalación de sistemas de aspiración centralizados que permiten la recolección de estos desperdicios o productos derramados a partir de la colocación de campanas de captación en lugares estratégicos. Las industrias químicas productoras de fertilizantes granulados no escapan de esta problemática, las cuales, debido a la naturaleza de sus procesos de producción, es muy probable que se produzcan derrames involuntarios; pero desafortunadamente para estas empresas, la colocación de sistemas de aspiración centralizados no siempre es la mejor solución, debido a que dependerán del espacio disponible para la colocación de estos grandes y estorbosos equipos, teniendo la necesidad de realizar esta labor manualmente. Debido a esta problemática se diseñó un sistema de aspiración móvil que permitirá la recolección de fertilizante granulado de la empresa Fertinitro, con la finalidad de disminuir los costos de mantenimiento de las áreas de producción, transporte y almacenaje del sector de granulación.

El presente trabajo se estructuró en cinco (5) capítulos donde se muestran los pasos realizados para el logro de los objetivos planteados, comenzando por el planteamiento del problema hasta las conclusiones y recomendaciones finales:

Capítulo 1 muestra en primera instancia el planteamiento de problema, donde se analiza la causa que origina el derrame de urea granulada y la alternativa de solución propuesta, así como los objetivos necesarios para lograr este fin.

En el Capítulo 2 se muestran algunos conceptos básicos necesarios en temas como: filtros, sistema de separación solido-gas, ventiladores y efectos de partículas solidas en fluidos con el fin de comprender mejor lo que será el desarrollo de la investigación.

En el Capítulo 3 se muestra la metodología usada para realizar este diseño, la cual expresa una serie de pasos que permitieron una visualización clara y organizada de cada una de las necesidades y soluciones para el logro de los objetivos planteados.

El Capítulo 4 muestra el desarrollo de la investigación, donde se encuentran los cálculos realizados para posteriormente seleccionar la capacidad del ventilador a usar. Se diseña una plataforma móvil que desplazará estos equipos a los puntos estratégicos donde se requiera su utilización (por esta razón el nombre de portátil en el título del trabajo). Por último se realiza un análisis económico mediante el método de valor presente neto (VPN).

Finalmente en el Capítulo 5 se encuentran planteadas todas las conclusiones y recomendaciones resultantes de este trabajo de investigación.

# CAPÍTULO 1

## EL PROBLEMA

### 1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA

Fertilizantes Nitrogenados de Venezuela, FERTINITRO C.E.C., fue construida a partir del año 1998, e inició sus operaciones y producción en octubre del año 2000. La misma cuenta con dos (2) plantas de amoníaco anhidro, cuya capacidad de producción es 1.800 toneladas por día cada una, y dos (2) plantas de urea granulada, de tecnología Snamprogetti, cada una con capacidad de producción de 2.250 toneladas métricas por día (TMPD). Las dos unidades de urea (11 y 21) son idénticas y se dividen en cinco (5) secciones: el circuito de alta presión, el circuito de media presión, el circuito de baja presión, la sección de vacío y por último hidrólisis. Adicionalmente posee las áreas de servicios para: generación de vapor, agua desmineralizada, tratamiento de agua de enfriamiento, aire de servicio, nitrógeno de servicio, efluentes, almacenamiento, entre otros. FERTINITRO es una compañía de carácter mixto, con participación de empresas del Estado Venezolano, como Petroquímica de Venezuela (PEQUIVEN), y empresas privadas extranjeras y venezolanas, como: Koch Industries, Snamprogetti y Empresas Polar.

La participación accionaria, expresada en porcentaje, es como se muestra a continuación en la Fig. 1.1:



Figura1.1. La participación Accionaria, [12].

### **1.1.1 Tipos de Productos y Servicios Elaborados**

El amoníaco es utilizado como materia prima para la producción de otros fertilizantes como Sulfato de Amonio y N.P.K. (Nitrógeno, Fósforo y Potasio). La Urea es utilizada directamente como fertilizante, como también puede ser mezclado con otros fertilizantes para aumentar la eficacia de la fertilización.

La Urea es producida al mezclar a alta presión y temperatura el Amoníaco y el CO<sub>2</sub>, para luego ser enviada hacia un proceso de granulación, en el que se le da la forma final al producto.

### **1.1.2 Visión**

Ser reconocida como la empresa más confiable y rentable productora de amoníaco y urea de alta calidad a nivel mundial.

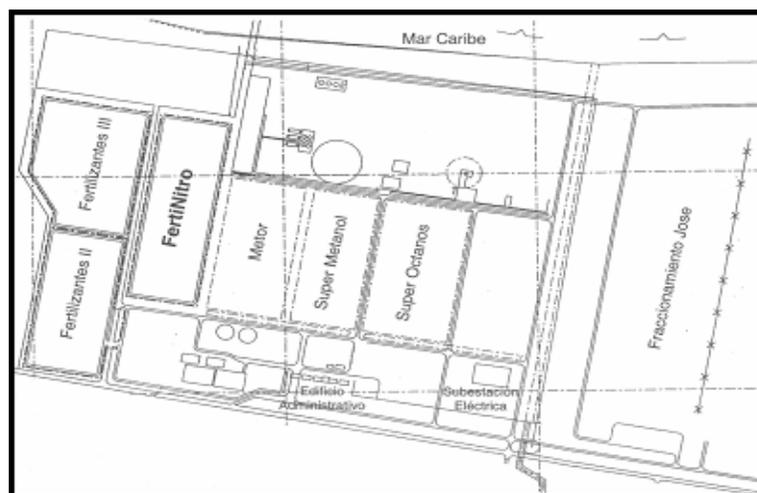
### **1.1.3 Misión**

- Operar con excelencia en seguridad, higiene y ambiente cumpliendo con todas las regulaciones aplicadas.
- Cumplir el compromiso productivo de 3700 T/M de Amoníaco, 4500 T/M de Urea, 340 días de año.
- Cumplir o exceder las expectativas de suministro y calidad de nuestros clientes.
- Mejorar continuamente la unidad de costo por unidad de producción.

## 1.2 ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 1.2.1 Ubicación geográfica

Fertilizantes Nitrogenados de Venezuela, FERTINITRO C.E.C. es una empresa petroquímica, dedicada a la producción de amoníaco y urea granulada. Está ubicada en el Complejo Industrial Petroquímico y Petrolero General de División José Antonio Anzoátegui, entre Barcelona (28 km) y Puerto Píritu (15 km), a la altura de Jose, al Norte del Estado Anzoátegui. En la Fig. 1.2 se muestra su ubicación dentro del área asignada a Pequiven en el Condominio de JOSE.

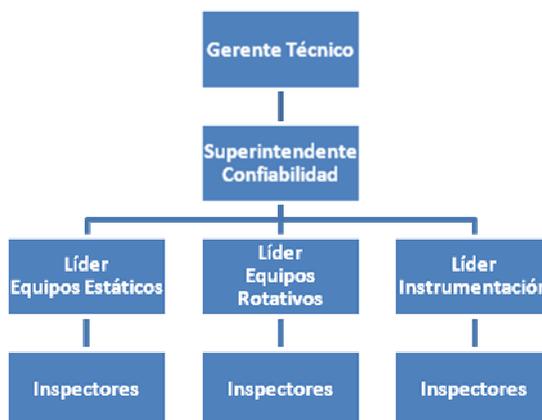


**Figura 1.2. Ubicación de la empresa Fertilizantes Nitrogenados de Venezuela C.E.C dentro del área asignada a Pequiven en el Condominio de JOSE.**  
[12].

### 1.2.2 Descripción del área de estudio

El trabajo se realizó en el Departamento de Confiabilidad, el cual se encarga de todo lo referente al mantenimiento de equipos rotativos y estáticos de la planta.

El Departamento de Confiabilidad, está basado en las funciones que desempeña cada uno de los trabajadores de la empresa, de acuerdo a su jerarquía y responsabilidades, tal y como se muestra en la Fig. 1.3.



**Figura 1.3. Organigrama Gerencia de Confiabilidad de la empresa Fertinitro.**  
[12].

### 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El amoniaco obtenido como producto final es almacenado en un tanque, es sacado por medio de tubería al muelle para ser transportado en buque para su negociación, igualmente el producto final de la planta de urea (urea perlada en granos) es transportado al almacén de urea y de allí hasta el muelle mediante cintas transportadoras. En la unidad de granulación 18 y 28, una vez que la urea abandona el granulador, pasa a los enfriadores para luego ser transportada por los elevadores de cangilones a la sección de cribado para su separación según diámetros de granos específicos y posteriormente su transporte y almacenamiento. Durante el proceso de vertido de la urea a través de la tolva de llenado en los cangilones y mientras se transporta a las cribas, se producen derrames del producto lo que genera la acumulación excesiva del mismo en el piso inferior del sector de granulación.

La urea derramada es envasada en sacos y vendida a menor precio debido a que cuando esta se encuentra fuera de sus condiciones ambientales tales como temperatura y humedad, se producen aglutinamientos por efecto de su propiedad higroscópica, generando pérdidas de ganancias. Esta labor de envasado es realizada manualmente por un equipo de trabajadores contratados por la empresa, lo que significa el empleo de mano de obra innecesaria y un valioso tiempo desperdiciado cuando existen mayores problemas que requieren una mejor atención, lo cual se ve reflejado a mediano plazo en el rendimiento de la empresa. Esta labor de limpieza completa del área, es realizada en mantenimiento mayor haciendo incidir un chorro de agua sobre las acumulaciones de urea lo que representa un problema ambiental. Por otra parte, cuando se lleva a cabo el proceso de carga en los buques, se producen derrames en las bandas y sistemas de transporte de urea lo que acarrearán demoras de estos en puerto, lo que genera un incremento de costo para la empresa.

Al problema antes mencionado, como alternativa de solución se propone el diseño de un sistema de aspiración portátil, que permitirá reducir los costos por mano de obra, además de facilitar el trabajo de limpieza y permitir al equipo de trabajadores enfocarse mejor en la producción de la planta. Para el desarrollo de este proyecto, en primera instancia se describió el proceso de obtención de urea y las zonas específicas donde se localiza el problema con el fin de evaluar el espacio disponible para el acceso del equipo, así como las ubicaciones más críticas de manera que el sistema pueda satisfacer las cargas en todos los puntos requeridos. También se determinó el volumen de urea que se desea aspirar para poder conocer la capacidad de manejo y el almacenamiento necesario del equipo. Luego, se determinaron las propiedades de la urea como tamaño, peso, corrosividad e higroscopía, conceptos básicos para la selección de materiales a emplear y sistema de filtrado. Se seleccionó un sistema que permitirá la separación de la urea y los elementos constitutivos necesarios. Una vez establecidas estas condiciones se procedió a calcular la potencia requerida para el sistema de aspiración propuesto, lo que permitió seleccionar el ventilador y su motor

eléctrico. Finalmente, se diseñó un soporte que permitirá movilizar el equipo para su acceso a las zonas donde se localiza el problema.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema de aspiración portátil de urea para las áreas de producción, transporte y almacenaje en el sector de granulación de la empresa FERTINITRO C.E.C.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Describir el proceso de obtención de la urea y de la zona donde se localiza el problema.
2. Determinar las propiedades de la urea como tamaño, peso, corrosividad e higroscopía para la selección de materiales necesarios.
3. Establecer las condiciones operativas para la determinación de la capacidad de manejo y almacenamiento del equipo.
4. Seleccionar el sistema de filtrado que permita la separación de la urea.
5. Calcular la pérdida de carga para el sistema de aspiración propuesto.
6. Seleccionar el ventilador y su motor eléctrico.
7. Diseñar una plataforma que permita el desplazamiento del equipo a las zonas donde se localiza el problema.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES**

La problemática presentada por el sistema de granulación de urea en la planta FERTINITRO no ha sido estudiada con anterioridad en tesis de grado por lo cual no se cuenta con antecedentes de forma directa sobre la misma, sin embargo, se han podido encontrar trabajos similares realizados anteriormente, lo que representa una ayuda para el desarrollo del proyecto.

En el año 2009, Hernández M., Luís M. [1], desarrolló una investigación cuyo objetivo principal fue el diseño de un sistema de extracción localizada de desperdicios de papel originado por el proceso de corte del periódico en las rotativas del diario el tiempo. Esto con la finalidad de mejorar las condiciones del ambiente de esa planta.

En el año 2007, Orta A. Luís M. [2], realizó un trabajo que consistió en el diseño de un sistema móvil de succión que funcionaba con energía neumática, suministrada a través de las líneas de aire comprimido que se encontraban distribuidas en el área de Envarillado de la planta de Carbón. Esto con la finalidad de eliminar los residuos de carbón que se presentan como un polvo muy fino, el cual enrarece el ambiente de trabajo al suspenderse en el aire debido a la práctica de limpieza de los equipos y el área por medio de un sistema de soplado.

En el año 1995, Belisario C., Cesar G. [3], realizó un trabajo que consistió en el diseño de un sistema capaz de extraer las vísceras de las sardinas en la empresa

Alimentos Margarita. Esto con el fin de garantizar la limpieza exigida por las normas sanitarias y la deseada por la empresa. Este sistema empleó un equipo de aspiración formado por boquillas de extracción, mangueras conectadas a las boquillas, una red de tuberías y un separador centrífugo.

Estos antecedentes sirvieron como referencia documental y metodológica para la realización del presente trabajo, en el cual se diseñó, conforme a los requerimientos de FERTINITRO C.E.C., un sistema de aspiración portátil para la recolección de granos de urea en las áreas de producción y almacenaje.

## 2.2 DEFINICIÓN Y PROPIEDADES PRINCIPALES DE LA UREA

### 2.2.1 Urea

También conocida como carbamida, carbonildiamida o ácido arbamídico, es el nombre del ácido carbónico de la diamida, cuya fórmula química es  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ . Se presenta como un sólido cristalino y blanco de forma esférica o granular. Es una sustancia higroscópica, es decir, que tiene la capacidad de absorber agua de la atmósfera y presenta un ligero olor a amoníaco. La urea es una sustancia no peligrosa, no tóxica, no cancerígena y tampoco es inflamable aunque si es levemente irritante en contacto en los ojos y piel [4]. En la Tabla 2.1 se muestran las propiedades más importantes de la urea como: densidad, corrosividad e higroscopia [5].

### 2.2.2 Propiedades

**Tabla 2.1 Propiedades de la urea [5].**

Densidad	Corrosividad	Higroscopía
730 kg/m <sup>3</sup>	Altamente corrosivo al acero al carbono. Poco al aluminio, zinc y cobre. No lo es al vidrio y aceros especiales	Altamente higroscópica, capacidad de absorción de humedad y tendencia a la formación de cúmulos o terrones duros

- Densidad. La densidad es una propiedad intensiva de la materia definida como la relación de la masa de un objeto dividida por su volumen.
- Higroscopía. Es la capacidad de algunas sustancias de absorber o ceder humedad al medioambiente.
- Corrosión. Se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque químico o electroquímico por su entorno.

### 2.3 EFECTO DE PARTÍCULAS SÓLIDAS EN LOS FLUIDOS

Cuando una partícula sólida se mueve a través de un fluido experimenta una fuerza de arrastre que se opone al movimiento. Esta fuerza de arrastre se origina en dos fenómenos llamados, arrastre friccional en la superficie (ver Fig. 2.1) y el incremento en la presión que es generado en el frente de la partícula que se mueve a través del fluido. El arrastre friccional es causado por la acción de la fuerza de corte del fluido cuando fluye sobre la superficie de la partícula, esta componente es llamada arrastre viscoso.

Las fuerzas que actúan sobre una esfera que desciende a través de un fluido (se denomina gas por conveniencia) son las siguientes [6]:

$$F = (v.\rho.g) - F_d$$

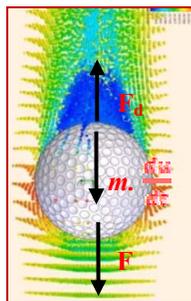


Figura 2.1. Pelota de golf a través de un fluido [6].

$$|F| = \frac{m}{g_c} \frac{du}{dt} = \left( \frac{\pi}{6} d_{esf}^3 \right) (\rho_s - \rho_g) \frac{g}{g_c} - |F_d| \quad (2.1)$$

- $F$  = Fuerza causante de la aceleración de la partícula, N (lbf)  
 $d_{esf}$  = Diámetro esférico equivalente de las partículas, m (pie)  
 $\rho_g$  = Densidad del fluido, kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>)  
 $\rho_s$  = Densidad de la partícula, kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>)  
 $F_d$  = Fuerza de arrastre sobre la partícula, N (lbf)  
 $m$  = Masa de la partícula, kg (lbm)  
 $du/dt$  = Cambio de la velocidad con respecto al tiempo, m/s<sup>2</sup> (pie/s<sup>2</sup>)  
 $g$  = Fuerza de gravedad, 9,8m/s<sup>2</sup> (32,2 pie/s<sup>2</sup>)  
 $g_c$  = Factor de conversión necesario para tener un sistema consistente de unidades, g<sub>c</sub> = 1 kg m/s<sup>2</sup> (g<sub>c</sub> = 1 lb pie/s<sup>2</sup>)  
 $v$  = Volumen de la esfera, m<sup>3</sup> (pie<sup>3</sup>)

Donde la fuerza de rozamiento viene dada por:

$$|F_d| = C_D \cdot \frac{\pi d_{esf}^2}{4} \frac{\rho_g u^2}{2g_c} \quad (2.2)$$

- $C_D$  = Coeficiente de arrastre  
 $u$  = Velocidad o velocidad media, m/s (pie/s)

### 2.3.1 Velocidad terminal de sedimentación

Si la partícula cae bajo el efecto de la gravedad a través de un fluido viscoso va a acelerarse por un corto tiempo, y como la partícula se mueve más rápido que la fuerza de arrastre ejercida por el fluido, esta se incrementa hasta que se iguala a la fuerza

gravitacional neta menos la flotabilidad que surge de la inmersión de la partícula en el fluido. Cuando estas fuerzas se balancean la partícula deja de acelerar y continúa cayendo a velocidad constante. Esta condición es conocida como sedimentación terminal.

Para la velocidad terminal  $du/dt = 0$ , en cuyo caso las Ecs. (2,1) y (2.2) se transforman en:

$$u_t = \left( \frac{4g d_{esf} (\rho_s - \rho_g)}{3\rho_g C_D} \right)^{1/2} \quad \text{ó} \quad C_D = \frac{4g d_{esf} (\rho_s - \rho_g)}{3\rho_g u_t^2} \quad (2.3)$$

$u_t$  = Velocidad terminal de una partícula en un fluido que cae libremente (m/s).

Se ha encontrado experimentalmente que el coeficiente de resistencia o rozamiento  $C_D$  es función del número de Reynolds de la partícula para la velocidad terminal, el cual es definido como:

$$Re_{esf,t} = \frac{d_{esf} u_t \rho_g}{\mu} \quad (2.4)$$

$Re_{esf,t}$  = Número de Reynolds para la velocidad final de una partícula (esférica en este caso) que cae libremente.

$\mu$  = Viscosidad (kg/m.s)

Para el caso especial de flujo viscoso de una esfera, que tiene lugar cuando  $Re_{esf,t} < 1$ , Stokes desarrolló la siguiente expresión para la fuerza de rozamiento [6]:

$$F_d = \frac{3\pi d_{esf}\mu u}{g_c} \quad (2.5)$$

A partir de Ec. (2.4) se obtiene:

$$u_t = \frac{(|\rho_s - \rho_g|)gd_{esf}^2}{18\mu} \quad (2.6)$$

$$C_D = \frac{24}{Re_{esf,t}} = 24 \left( \frac{\mu}{d_{esf} u_t \rho_g} \right) \quad (2.7)$$

Válidas cuando  $Re_{esf,t} < 1$ .

A pesar de la aparente simplicidad del patrón de flujo que rodea a una esfera en movimiento, no es posible derivar una relación entre  $C_D$  y  $Re_{esf,t}$  partiendo de los principios fundamentales de la mecánica de fluidos. La única excepción es cuando la partícula es esférica y el número de Reynolds es muy pequeño en este caso se dispone de una solución completamente analítica. Esta es conocida como régimen de Stokes, que se puede establecer siempre y cuando se tenga un  $Re < 1$ , inmediatamente después se presenta un régimen intermedio para  $1 < Re < 1000$ , y el intervalo de  $1000 < Re < 200.000$  se ha establecido como régimen de Newton.

En la región  $Re_{esf,t} < 2 \times 10^3$  los datos son descritos con bastante precisión en la ecuación de Abraham:

$$C_D = 0,28 \left( 1 + \frac{9,06}{Re_t^{1/2}} \right)^2 \quad (2.8)$$

En la región de  $Re_{esf,t} < 2 \times 10^5$  los datos son descritos por la ecuación de Turton-Levenspiel:

$$C_D = \frac{24}{Re_t} (1 + 0,173Re_t^{0,657}) + \frac{0,413}{1 + 163000Re_t^{-1,09}} \quad (2.9)$$

Para el flujo turbulento de una esfera,  $Re, > 1$ , no se ha desarrollado ninguna expresión teórica satisfactoria para la fuerza de rozamiento. En las Figs. 2.2 y 2.3 se muestran estos datos como la relación  $C_D$  frente a  $Re$ , para  $\phi = 1$  (esfericidad de partícula). La Fig. 2.2 es útil para encontrar la pérdida friccional dada  $u_t$ , mientras que la Fig. 2.3 es útil para encontrar  $u_t$  para partículas dadas [6].

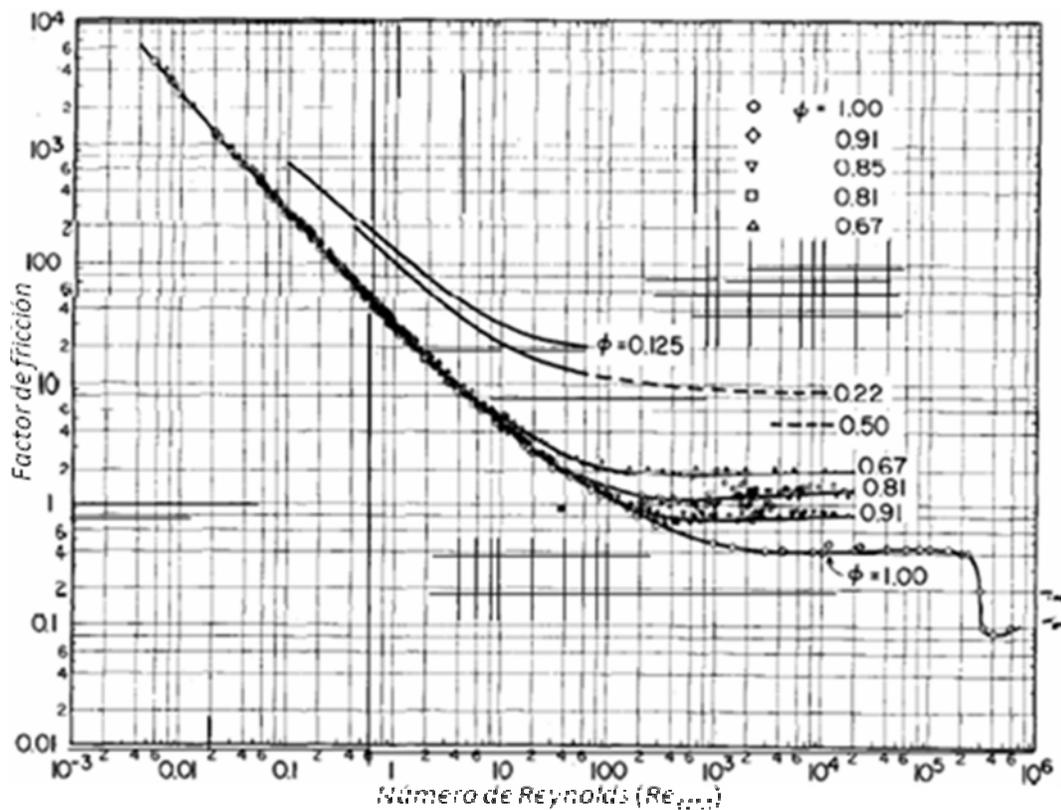


Figura 2.2. Factor de fricción o coeficiente de rozamiento en función al número de Reynolds terminal para partículas que caen a través de un fluido [6].

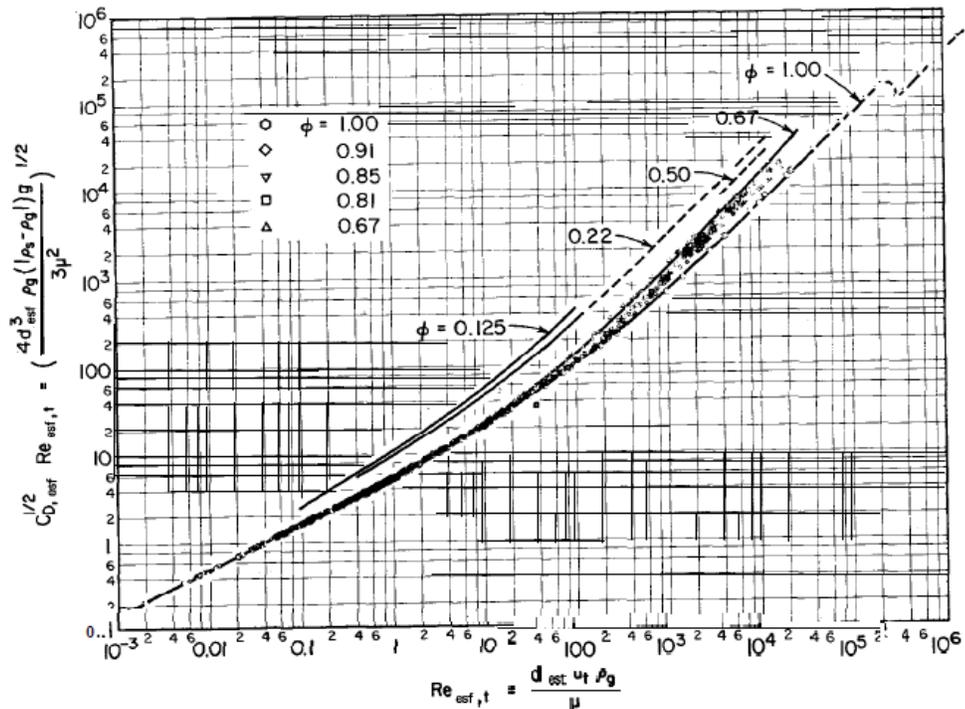


Figura 2.3. Producto entre el coeficiente de rozamiento y número de Reynolds en función del número Reynolds [6].

### 2.3.2 Velocidad de partículas sólidas

La importancia de obtener mediciones precisas de la velocidad del sólido transportado está asociada al hecho de que el rozamiento ejercido por el fluido sobre la partícula es aproximadamente proporcional al cuadrado de la velocidad relativa. Como frecuentemente la velocidad del sólido es muy parecida a la del aire, es evidente la necesidad de unos valores muy aproximados. La velocidad de las partículas sólidas  $u_s$  se representa en función de la velocidad del aire  $u_a$ , la velocidad terminal de la partícula  $u_t$  y de la densidad de las partículas sólidas  $\rho_s$  por medio de la ecuación:

$$u_a - u_s = \frac{u_t}{0.468 + 7.25 \sqrt{\frac{u_t}{\rho_s}}} \quad (2.10)$$

Donde:

$u_a$  = Velocidad del aire, m/s

$u_s$  = Velocidad de las partículas sólidas, m/s

$u_t$  = Velocidad terminal de la partícula, m/s

$\rho_s$  = Densidad del sólido, kg/m<sup>3</sup>

### 2.3.3 Diámetro esférico equivalente de una partícula

En situaciones prácticas de ingeniería es común trabajar con partículas con formas irregulares, debido a la diversidad de procesos de manufactura y manejo de la materia prima. En estos casos es conveniente hallar un diámetro equivalente al volumen del tamaño de la partícula:

$$d_{esf} = \left( \frac{6v}{\pi} \right)^{1/3} \quad (2.11)$$

Donde  $v$  es el volumen de la partícula y  $d_{esf}$  representa el diámetro de la esfera que tiene el mismo volumen de la partícula, el cual es usado para calcular el número de Reynolds para partículas de cualquier forma [6].

## 2.4 CAÍDA DE PRESIÓN DE FLUJOS CON PARTÍCULAS

### 2.4.1 Caída de presión ocasionada por fricción del gas en tuberías

Cuando la variación de densidad de flujo es pequeña ( $\rho_1 / \rho_2 < 2$ ) y la velocidad no demasiado alta ( $Ma < 0,3$ ) en flujo incompresible, entonces el balance de energía mecánica se reduce a:

$$\frac{\Delta p_1}{\gamma} = f \frac{LV^2}{D2g} \quad (2.12)$$

Donde:

- $\Delta p_1$  = Caída de presión ocasionada por fricción del gas en tuberías, Pa (psi).  
 $\gamma$  = Peso específico, N/m<sup>3</sup> (lbf/pie<sup>3</sup>).  
 $f$  = Factor de fricción.  
 $L$  = Longitud de la tubería, m (pie).  
 $V$  = Velocidad del fluido en la tubería, m/s (pie/s).  
 $D$  = Diámetro de la tubería, m (pie).

La Ec. (2.12) representa el flujo de fluidos incompresibles como líquidos ó gases que circulen relativamente despacio [6].

#### 2.4.2 Caída de presión ocasionada por accesorios en el sistema

Son aquellas producidas por estrechamientos o expansiones de corriente, codos, válvulas y toda clase de accesorios en la tubería [7].

$$\frac{\Delta p_2}{\gamma} = k \frac{V^2}{2g} \quad (2.13)$$

Donde:

$\Delta p_2 =$  Caída de presión ocasionada por accesorios en el sistema Pa (psi).

$k =$  Factor de pérdida por accesorio.

### 2.4.3 Caída de presión debido al roce de sólidos en la tubería

Esta puede calcularse conociendo la velocidad del sólido  $u_s$ , la velocidad terminal de caída de partículas  $u_t$  la velocidad de alimentación de sólidos  $\dot{m}_s$  y la caída de presión para el aire solo,  $\Delta p_1$  [7].

$$\Delta p_3 = \frac{210 \dot{m}_s \Delta p_1}{u_s^2 u_t D^{0.7}} \quad (2.14)$$

Donde:

$\Delta p_3 =$  Caída de presión debido al roce de sólidos en la tubería, Pa.

$\dot{m}_s =$  Flujo másico de aire, kg/s.

$u_s =$  Velocidad de la partícula, m/s.

$u_t =$  Velocidad terminal de la partícula, m/s.

$D =$  Diámetro de la tubería, m.

### 2.4.4 Caída de presión debido a la aceleración de la partícula

El material sólido entra en la tubería a una velocidad aproximadamente igual a cero y es acelerado hasta la velocidad de transporte, absorbiendo energía del gas de transporte y produciendo una diferencia de presión necesaria para acelerar el material dado como [7]:

$$\Delta p_4 = \frac{\dot{m}_s u_s}{A_t} \quad (2.15)$$

Donde:

$\Delta p_4$  = Caída de presión debido a la aceleración de la partícula, Pa (psi).

$\dot{m}_s$  = Flujo másico de aire, kg/s (lbm/s).

$u_s$  = Velocidad de la partícula, m/s (pie/s).

$A_t$  = Área de la tubería, m<sup>2</sup> (pie<sup>2</sup>).

#### 2.4.5 Caída de presión debido a la elevación de la partícula

Cuando el material solo tiene que ser elevado durante su recorrido hasta el punto de descarga, exigirá una cantidad neta de energía que puede expresarse por la fórmula siguiente [7]:

$$\Delta p_5 = \frac{m_s L g}{u_s A_t} \quad (2.16)$$

Donde:

$\Delta p_5$  = Caída de presión originada por la elevación de la partícula sólida, Pa (psi).

$L$  = Longitud de la tubería m (pie).

#### 2.4.6 Caída de presión en los codos de la tubería ocasionadas por las partículas sólidas

Esta es debida al efecto de la fuerza centrífuga que desplazan las partículas sólidas hacia la pared cuando estas entran en un codo, donde son frenadas y aceleradas por el efecto de la fuerza de roce [7].

$$\Delta p_6 = 0,35 \frac{m_s u_s}{A_t} \quad (2.17)$$

Donde:

$\Delta p_6$  = Caída de presión en los codos de la tubería ocasionadas por las partículas sólidas Pa.

$A_t$  = Área de la tubería, m<sup>2</sup>.

## 2.5 SEPARADORES CICLÓNICOS

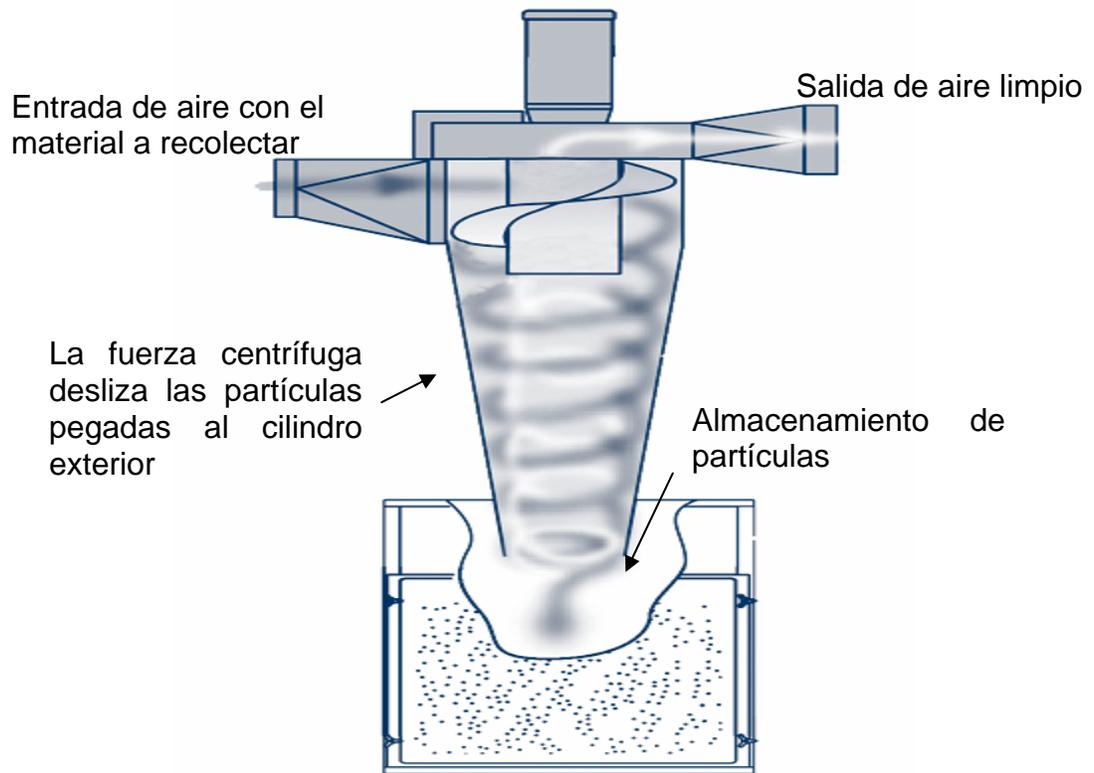
Los ciclones son uno de los equipos más empleados dentro de las operaciones de separación de partículas sólidas de una corriente gaseosa, además de poder emplearse para separar sólidos de líquidos. Su éxito se debe en parte a que son equipos de una gran sencillez estructural debido a que no poseen partes móviles y exigen poco mantenimiento [8].

Además destaca el hecho de que, al hacer uso de fuerzas centrífugas en vez de gravitatorias, la velocidad de sedimentación de las partículas se incrementa en gran medida haciéndose más efectiva la separación.

### 2.5.1 Funcionamiento

Un separador ciclónico está compuesto básicamente por un cilindro vertical con fondo cónico, dotado de una entrada tangencial normalmente rectangular.

La corriente gaseosa cargada con las partículas sólidas se introduce tangencialmente en el recipiente cilíndrico a velocidades de aproximadamente 30 m/s, saliendo el gas limpio a través de una abertura central situada en la parte superior. Por tanto, se observa que el modelo de flujo seguido por el gas dentro de los ciclones es el de un doble vórtice. Primero el gas realiza una espiral hacia abajo y por la zona exterior, para después ascender por la zona interior describiendo igualmente una hélice. En la Fig. 2.4 se puede observar el funcionamiento interno de este equipo.



**Figura 2.4. Funcionamiento del separador ciclónico [13].**

Las partículas de polvo, debido a su inercia, tienden a moverse hacia la periferia del equipo alejándose de la entrada del gas y recogándose en un colector situado en la base cónica [8].

### 2.5.2 Tipos

Los ciclones convencionales se pueden encontrar en una gran variedad de tamaños y la entrada al equipo puede ser bien rectangular o circular. Una forma de clasificar los distintos tipos se puede efectuar atendiendo a la manera en que se produce la carga y la descarga del equipo y otro modo sería en función de su eficacia.

De acuerdo a su disposición geométrica se distinguen los siguientes tipos de separadores ciclónicos, esto se puede apreciar en la Fig. 2.5.:

- (a) **Entrada tangencial y descarga axial:** estos representan el ciclón tradicional y, aunque se pueden construir con diámetros más grandes, lo más frecuente es que éstos se encuentren entre los 600 y los 915 mm.
- (b) **Entrada tangencial y descarga periférica:** el gas sufre un retroceso en el interior del equipo al igual que ocurre en un ciclón convencional. Sin embargo, presenta el inconveniente de que el polvo no es eliminado en su totalidad de la corriente gaseosa, aunque sí se produce una concentración del mismo.
- (c) **Entrada y descarga axial:** la diferencia fundamental se encuentra en que los diámetros son de menores dimensiones (entre 25 y 305 mm), y gracias a esta característica su eficiencia es mayor aunque su capacidad es menor.

(d) **Entrada axial y salida periférica:** proporcionan un flujo directo que es muy adecuado para conectarlos a fuentes de gran volumen, donde los cambios en la dirección del gas podrían ser un inconveniente [8].

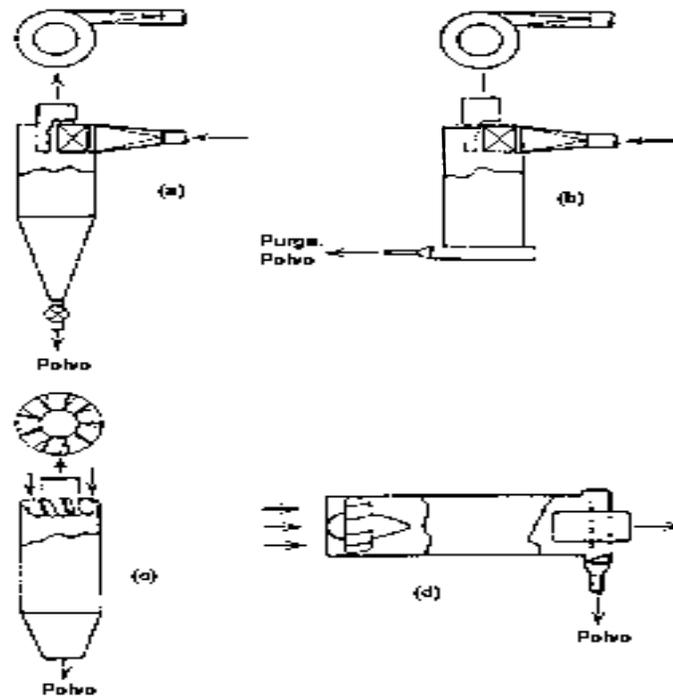


Figura 2.5. Tipos de ciclones [8].

Otra posible clasificación de los ciclones se puede realizar en función de su eficacia. Según este criterio se consideran los siguientes tipos:

- a) Muy eficientes (98 - 99 %)
- b) Moderadamente eficientes (70 - 80 %)
- c) Baja eficiencia (50 %)

### 2.5.3 Eficiencia y pérdida de carga

La eficiencia de un ciclón está determinada en gran medida por su tamaño. Se ha comprobado que los ciclones de menor diámetro son los que proporcionan mejores eficiencia en la separación de partículas. Asimismo, se observa que la altura total del equipo también afecta a la eficiencia, aumentando ésta con la altura.

La eficiencia se define a partir del diámetro de corte que equivale a aquel diámetro de partícula para el que la curva de eficiencia tiene un valor del 50 %. Este valor constituye una medida del tamaño de las partículas capturadas.

De esta manera surge la siguiente ecuación, conocida como ecuación de Rosin Rammler, que es bastante exacta para la estimación de la eficiencia de los ciclones. En ella se supone que la corriente de gas realiza un determinado número de vueltas a una velocidad constante e igual a la de la entrada de la corriente gaseosa en el ciclón, sin considerar turbulencias ni efectos de mezclado [9]. De esta manera la Ec (2.18) representa el diámetro de corte para un ciclón determinado:

$$D_{corte} = \sqrt{\frac{9.W_i.\mu}{2.\pi.NV\rho_{part}}} \quad (2.18)$$

Donde:

$D_{corte}$  = Diámetro de corte, m (pie).

$W_i$  = Ancho de la entrada al ciclón, m (pie).

$N$  = Número de vueltas que el gas realiza alrededor del ciclón antes de que salga del área de captura, normalmente se toma  $N = 5$ .

$V$  = Velocidad del gas en la admisión del ciclón, m/s (pie/s).

$\mu$  = Viscosidad del gas, N.s/m<sup>2</sup> (lbf.s/pie<sup>2</sup>).

$\rho_{part}$  = Densidad de la partícula, kg/m<sup>3</sup> (lbm/pie<sup>3</sup>).

A partir de aquí se puede expresar el rendimiento con la siguiente ecuación, que representa de manera satisfactoria los datos experimentales.

$$\eta = \frac{(D_{part} / D_{corte})^2}{1 + (D_{part} / D_{corte})^2} \quad (2.19)$$

Donde:

$\eta$  = Eficiencia del separador ciclónico.

$D_{corte}$  = Diámetro de corte, m (pie).

$D_{part}$  = Diámetro promedio de la partícula m (pie).

Por otro lado, la pérdida de carga se puede representar por la siguiente ecuación:

$$\Delta p_{ciclón} = K \frac{\rho_{gas} V^2}{2} \quad (2.20)$$

Donde :

$\Delta p_{ciclón}$  = Pérdida de carga producida en el separador ciclónico, Pa (psi).

$K$  = Factor de pérdidas por accesorio, ( $K = 8$  para ciclones).

$\rho_{gas}$  = Densidad del gas, Kg/m<sup>3</sup> (lbm/pie<sup>3</sup>).

$V$  = Velocidad del gas en la admisión del ciclón, m/s (pie/s).

## 2.6 VENTILADORES

Un ventilador es esencialmente una bomba de gas en vez de líquido. Por lo tanto es una máquina hidráulica generadora para gases.

Los líquidos son poco compresibles y los gases muy compresibles. La compresibilidad puede o no afectar al diseño de la máquina y repercutir o no en la aplicabilidad de las fórmulas para bombas a los ventiladores, según la variación de la densidad, y por tanto de volumen específico, sea o no importante. Si el gas puede considerarse incompresible a su paso por la máquina, la teoría y funcionamiento de la bomba de gas será idéntica a la bomba de líquido. Esto sucede cuando el incremento de presiones  $\Delta p$  es pequeña.

Si el gas no puede considerarse incompresible las formulas desarrolladas para bombas no serán aplicables a los ventiladores. Si el gas puede considerarse incompresible, la máquina se llama ventilador y si el gas ha de considerarse compresible, la máquina se llama turbocompresor.

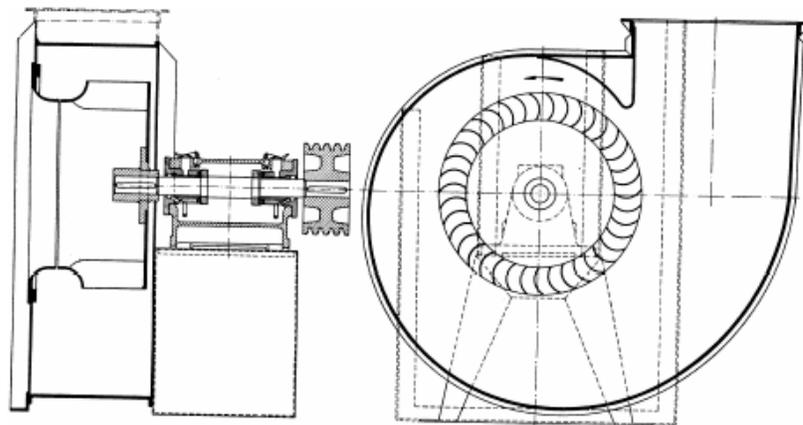
Los ventiladores se pueden clasificar según la presión total desarrollada como:

- Baja presión: presión total desarrollada inferior a 1 kPa.
- Media presión: presión total desarrollada superior a 1 e inferior a 3 kPa.
- Alta presión: presión total desarrollada superior a 3 e inferior a 10 kPa. (En estos últimos el efecto de la compresibilidad ya es apreciable). Esta clasificación es meramente convencional [7].

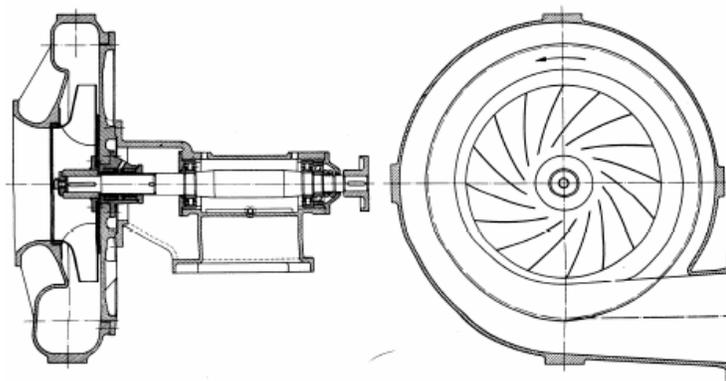
### **2.6.1 Ventiladores centrífugos**

Estos abarcan los tipos radiales y semiaxiales. Los ventiladores centrífugos se adaptan a los tres tipos mencionados anteriormente, de baja, media y alta presión. Los

de baja presión a veces son de tipo Sirocco o de tambor (ver Figs. 2.6 y 2.7). La Fig. 2.6 presenta un ventilador centrífugo Sirocco de baja presión (0,5 kPa) con rodete de tipo tambor, construido por la casa Sulzer. En este ventilador los álabes están curvados hacia adelante ( $\beta_2 > 90^\circ$ ); la embocadura de entrada es una tobera de perfil aerodinámico para reducir las pérdidas; la sección transversal de la caja espiral, construida de chapa reforzada con angulares; el rodete está instalado en voladizo. Carece de prensaestopas porque la presión es baja. Este tipo de ventiladores desarrolla presiones mucho mayores que los ventiladores axiales y son empleados mayormente en los sistemas de ventilación localizada y su principio de funcionamiento es el mismo de las bombas centrífugas [7].



**Figura 2.6. Ventilador de baja presión de rodete tipo tambor de 500mm de diámetro para 8000 m<sup>3</sup>/h, 720 rpm y 5mbar de presión [7].**



**Figura 2.7. Ventilador de alta presión para 2950 rpm para un caudal de 16000 m<sup>3</sup>/h y una presión de 70 mbar, con un diámetro exterior de rodete de 500 mm [7].**

La potencia de un ventilador viene dada por las Ecs (2.21) y (2.22) las cuales expresan la potencia hidráulica y la potencia de accionamiento respectivamente:

$$P = Q \cdot \Delta p_{tot} \quad \text{ó} \quad (2.21)$$

$$Pa = \frac{Q \cdot \Delta p_{tot}}{\eta_v \eta_h \eta_m} \quad (2.22)$$

Donde:

$P$  = Potencia Hidráulica, kw (Hp).

$Pa$  = Potencia de accionamiento, kw (Hp).

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

$\Delta p_{tot}$  = Variación de presión total, Pa (psi)

$\eta_v$  = Eficiencia volumétrica.

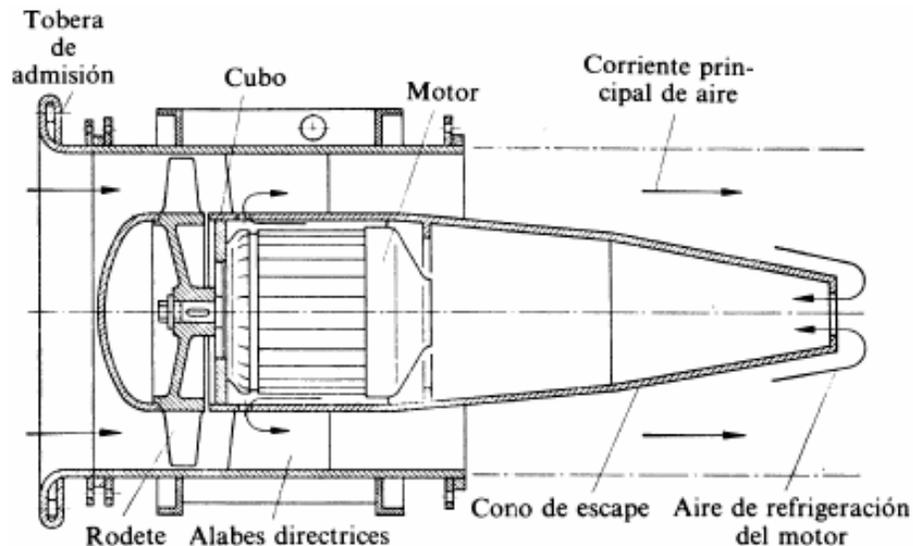
$\eta_h$  = Eficiencia hidráulica.

$\eta_m$  = Eficiencia mecánica.

### 2.6.2 Ventiladores axiales

En estos ventiladores el movimiento del fluido a través de los álabes se realiza conservando la dirección del eje. Estos se usan para mover grandes cantidades de aire en espacios abiertos, de esta manera su principal aplicación se encuentra en el campo de la ventilación general y se les conoce con el nombre de extractores o inyectores de aire. La Fig 2.8 representa un ventilador axial construido por la casa Siemens para

ventilación de minas, con motor eléctrico refrigerado por aire,  $n = 2900$  rpm. Su rendimiento es elevado (80 %), gracias a que los ocho álabes de que consta su rodete siluminio antideflagrante están diseñados como perfil de ala de avión [7].



**Figura 2.8. Ventilador axial de aire para ventilación de minas para 2900 rpm y elevado rendimiento (80 %) [10].**

### 2.6.3 Influjo de la variación de la densidad del gas en el comportamiento de los ventiladores

No siendo el ventilador más que una bomba de gas, todas las fórmulas desarrolladas para bombas son también aplicables a los ventiladores. Hay, sin embargo, una excepción: la cavitación, ya que esta se produce al entrar el líquido en ebullición y es exclusivo de los líquidos.

La densidad del aire y la de cualquier gas varía mucho con la presión, aunque no varíe sensiblemente a su paso por el ventilador, no es así para los líquidos; tanto la presión que da un ventilador como la potencia de accionamiento del mismo son

influenciadas grandemente por las variaciones de densidad en el aire o gas impulsado [7].

## **2.7 SISTEMAS DE SEPARACIÓN**

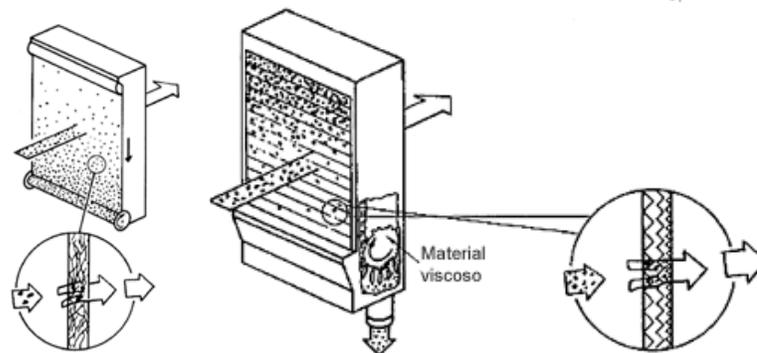
Para la selección del sistema de filtrado se considerarán las propiedades de la urea y la cantidad de esta que se extraerá en un tiempo determinado con el fin de estimar su capacidad [10].

### **2.7.1 Filtros de aire**

Son dispositivos diseñados para disminuir las concentraciones de las partículas que se encuentran en suspensión en el aire. El tipo de filtro a emplear dependerá del tamaño de las partículas a separar [10].

### **2.7.2 Filtros húmedos**

También llamados viscosos consisten en un entramado filtrante de material metálico o fibra que está impregnado de una materia viscosa como aceite o grasa. Si se observa un filtro de este tipo se verá que en el lado de entrada del aire el material es mucho menos tupido que en el lado de salida, esto se puede observar en la Fig. 2.9. Con esta disposición se consigue aumentar la vida del filtro ya que las partículas que quedan primeramente retenidas son de mayor granulometría [10].



**Figura 2.9. Filtro húmedo [10].**

### 2.7.3 Filtros secos

Están formados por un material fibroso o por un lecho de fibras finas a través del cual se hace pasar el aire. El rendimiento aumenta a medida que la porosidad del material es menor. Permiten una velocidad de paso del aire más reducida que los filtros húmedos al mismo tiempo que su duración es menor [10].



**Figura 2.10. Filtro seco [13].**

### 2.7.4 Separadores de polvo

Cuando las partículas tienen un diámetro de grano superior a un milímetro pueden emplearse medios mecánicos para su operación. En este caso se llama proceso de separación de polvo y pueden ser por: gravedad, fuerza centrífuga o humedad [10]. La Fig. 2.11 muestra un separador de polvo por fuerza centrífuga.

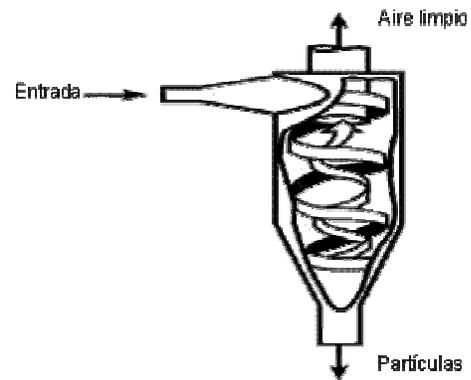


Figura 2.11. Separador de polvo por fuerza centrífuga [8].

## **CAPÍTULO 3**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El presente estudio se desarrolló bajo la modalidad de una investigación documental y de campo. La investigación documental permitió obtener información de datos secundarios; es decir los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas; bajo este contexto para el desarrollo de esta investigación se contó con estudios realizados por diferentes autores que sirvió de apoyo para describir las características de los sistemas de aspiración centralizados en el mundo; y una investigación de campo descriptiva porque permitió conocer las situaciones y actitudes predominantes a través de la observación directa y descripción exacta del proceso de granulación, transporte y almacenaje de urea en la planta FERTINITRO C.E.C.

#### **3.2 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta es de tipo exploratoria debido a que se trata de un tema poco estudiado y no existe un cuerpo teórico abundante que ilumine el estudio sobre el derrame involuntario de urea granular en las industrias productoras mundiales de fertilizante, así como los métodos de solución empleados. Los resultados obtenidos son un aporte y una propuesta de solución a esta problemática.

#### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población está comprendida por la empresa FERTINITRO C.E.C. y la muestra

está conformada por las zonas donde se requiere mayor atención como los sectores de granulación de la empresa.

### **3.4 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN**

Para realizar este diseño se llevó a cabo una serie de etapas que permitieron una visualización clara y organizada de cada una de las necesidades y soluciones. Este capítulo muestra las etapas empleados como metodología para el logro de los objetivos planteados. Estas etapas son:

- 1) Revisión bibliográfica
- 2) Descripción del proceso de obtención de urea
- 3) Evaluación de las zonas críticas
- 4) Estudio de las propiedades de la urea
- 5) Evaluación de las condiciones operativas
- 6) Selección del sistema de filtrado
- 7) Cálculos del sistema de aspiración
- 8) Selección del ventilador
- 9) Diseño de la plataforma móvil

#### **3.4.1 Revisión bibliográfica**

En esta etapa se recopiló toda la información referente al efecto de las partículas sólidas en los fluidos, separadores de partículas, filtros, ductería y ventiladores en: textos, manuales, tesis de grado, páginas de Internet, entre otros.

#### **3.4.2 Descripción del proceso de obtención de urea**

La obtención de urea a nivel industrial se realiza a partir de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) líquido y

anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) gaseoso. La reacción se verifica en 2 pasos. En el primer paso, los reactivos mencionados forman un producto intermedio llamado carbamato de amonio y en la segunda etapa el carbamato se deshidrata para formar urea.

Según lo expuesto, el proceso completo de producción de la urea puede separarse en: obtención de  $\text{CO}_2$ , obtención de amoníaco, formación de carbamato, degradación del carbamato y reciclado, síntesis de urea, deshidratación, concentración y granulación. La Fig. 3.1 muestra un diagrama de las etapas para la formación de urea

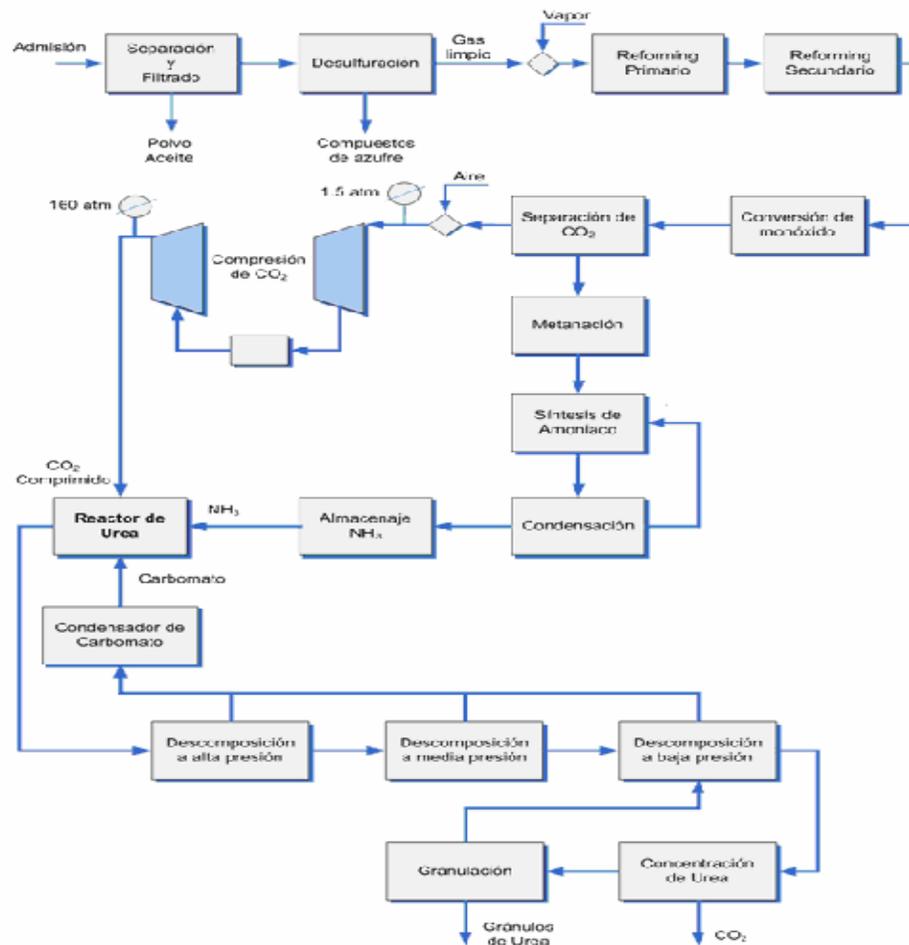


Figura 3.1. Diagrama de proceso de formación de urea [12].

### 3.4.2.1 Obtención de CO<sub>2</sub>

Este se obtiene a partir de gas natural, mediante reforming catalítico con vapor de agua.

### 3.4.2.2 Obtención de amoníaco

El otro reactivo necesario para la producción de urea es el amoníaco. Éste se obtiene a partir del gas reformado separado del CO<sub>2</sub>. Primeramente se produce una etapa de metanación para convertir a metano las bajas proporciones que quedan de CO y CO<sub>2</sub> en circulación. Luego de la metanación, el gas circulante se compone de aire, metano y vapor de agua, los cuales reaccionan con catalizador de hierro para formar amoníaco en estado gaseoso el cual se condensa por enfriamiento y se separa del gas para almacenarlo a una presión de 13 atm. El amoníaco gaseoso remanente es recirculado al loop de síntesis. Este proceso se muestra en la Fig. 3.2.

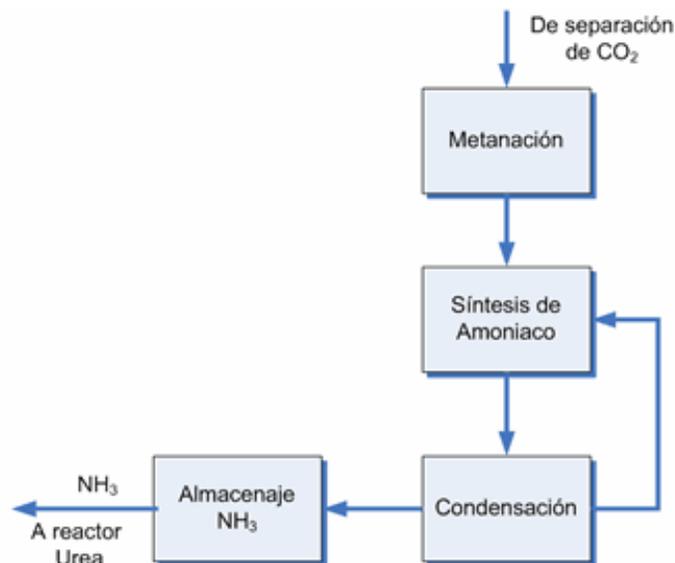


Figura 3.2. Etapas de obtención de amoníaco [12].

### **3.4.2.3 Formación del carbamato**

Este se forma a partir de  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_3$  los cuales reaccionan rápida y exotérmicamente, en una primera etapa, para formar el carbamato, que luego se deshidrata a urea más agua.

### **3.4.2.4 Descomposición del carbamato**

No todo el carbamato de Amonio se descompone en Urea y Agua. La fracción que se descompone para formar Urea en relación a la cantidad total que ingresa al reactor se denomina conversión. La conversión de carbamato en Urea en el reactor está en el orden del 70 %, es decir que de cada 100 kg de carbamato que se forman, sólo 70 kg pasan a Urea. El resto debe reciclarse permanentemente y en forma continua al reactor para lograr una conversión total. Como el carbamato se forma mucho más rápido que la urea y al ser altamente corrosivo, su manejo es muy difícil. Por ésta razón, lo que se hace es degradarlo nuevamente a  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$  para luego volver a formarlo.

### **3.4.2.5 Síntesis de urea**

La producción de la urea se realiza en un reactor vertical, que opera a  $188\text{ }^\circ\text{C} - 190\text{ }^\circ\text{C}$  y  $160\text{ kgf/cm}^2$  absoluta, un tiempo de residencia de alrededor de 45 minutos y un grado de conversión (en un paso) del 65 – 70 %. Esta operación combina la formación de carbamato por la alimentación de  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_3$  en exceso y la descomposición del carbamato en urea.

### 3.4.2.6 Granulación

En esta etapa la urea fundida es bombeada a la parte superior de la torre de 80 metros de altura y 16 metros de diámetro. Mediante un canasto giratorio con unas 6000 pequeñas perforaciones se logra obtener una lluvia de urea fundida, cuyas gotas se van solidificando primero y enfriando luego durante su caída libre, a la vez que se hace circular aire en sentido contrario mediante grandes ventiladores ubicados en la parte superior de la torre.

### 3.4.3 Evaluación de las zonas críticas

Para poder realizar los cálculos pertinentes al sistema de aspiración es necesaria la selección de la ubicación de la zona más crítica donde es necesaria la recolección del producto, con el fin de que este pueda satisfacer las condiciones más exigentes y compensar sin ningún problema las de menor requerimiento. De esta manera, las Figs. 3.3 y 3.4 muestran la primera zona ubicada en la planta baja del edificio de granulación. Esta ubicación permitirá el acceso del equipo sin mayor dificultad debido a que cuenta con una entrada suficientemente amplia, sin embargo es recomendable mantener cierta distancia de los otros equipos presentes a fin de no ocasionar ningún daño. La Fig. 3.5 muestra las condiciones en que se encuentran los sectores de granulación.

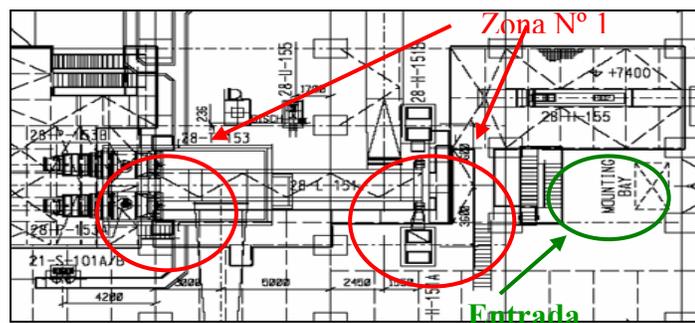


Figura 3.3. Vista de encima de la planta baja del edificio de granulación [12].

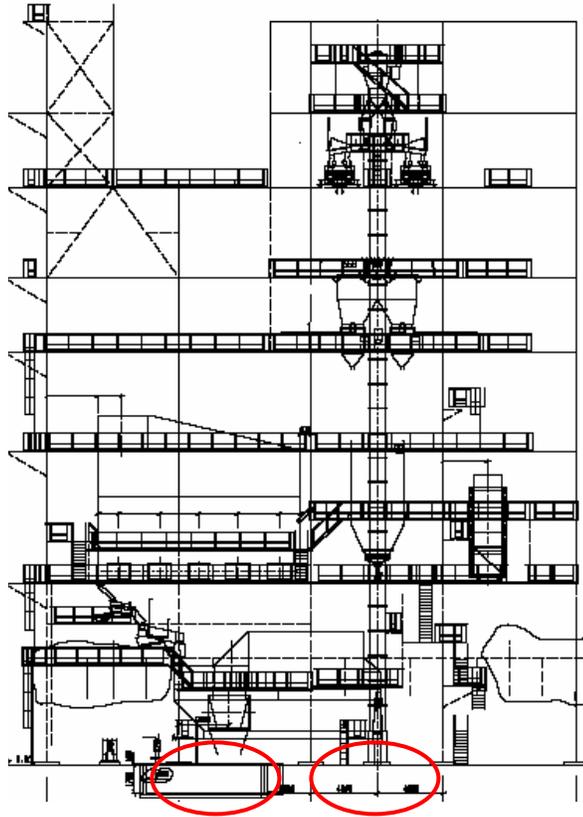


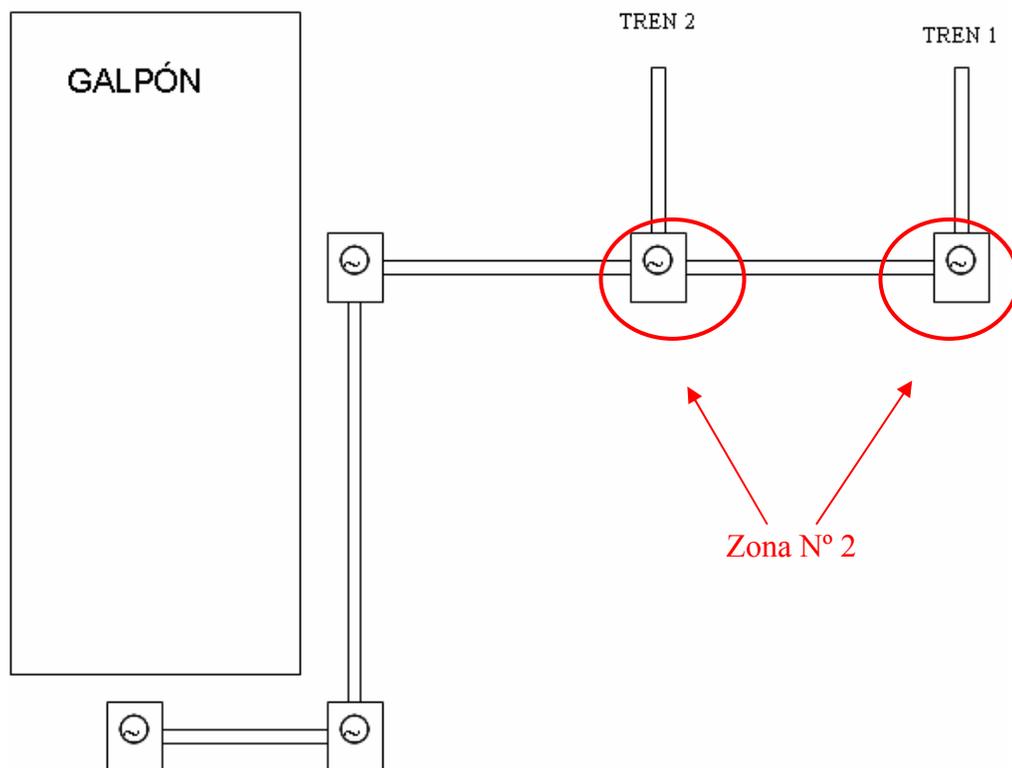
Figura 3.4. Vista lateral del edificio de granulación [12].



Figura 3.5. Condiciones en que se encuentra las áreas de granulación (Zona N°1) [12].

La segunda zona donde es necesaria la recuperación de las partículas de urea, se encuentra en los pasillos (galerías) de las cintas transportadoras, las cuales se encargan de desplazar dichas partículas desde el sector de granulación hasta el almacén.

La Fig. 3.6 muestra el recorrido de las cintas y la ubicación de la segunda zona con derrames del producto.



**Figura 3.6. Vista de planta del recorrido de la cinta transportadora hasta el almacén [12].**

El acceso a este sector se encuentra a una altura de 10,1 metros del piso como se muestra en la Fig. 3.7. Esto ocasiona que el equipo deba permanecer abajo y acceder al área mediante un conducto flexible.



**Figura 3.7. Inicio de la galería de la cinta transportadora [12].**

Es importante destacar que la potencia de aspiración requerida, será considerada a partir de los resultados obtenidos en los cálculos realizados para cada zona tomando en cuenta los puntos más desfavorables o críticos.

#### **3.4.4 Estudio de las propiedades de la urea**

Para comenzar con el diseño fue necesario conocer algunas propiedades importantes de las partículas de urea con las que se iba a trabajar. Con la ayuda de un laboratorio que se encuentra dentro de la empresa, se obtuvieron características como: diámetros y pesos de cada partícula de una muestra de veinte (20) tomadas al azar, las cuales fueron empleadas posteriormente para conocer su densidad ( $730 \text{ kg/m}^3$ ). Estos valores se muestran en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1. Características de las partículas de urea [12].**

<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso (gr)</b>
2,57	0,00692	0,00505
3,03	0,00961	0,00702
3,62	0,01372	0,01002
4,2	0,01847	0,01349
3,4	0,01211	0,00884
4,55	0,02168	0,01583
1,4	0,00205	0,00150
1,85	0,00358	0,00262
2,21	0,00511	0,00373
2,49	0,00649	0,00474
2,9	0,00881	0,00643
2,3	0,00554	0,00404
2,6	0,00708	0,00517
3,25	0,01106	0,00807
3,72	0,01449	0,01058
2,11	0,00466	0,00340
2,73	0,00780	0,00570
3,16	0,01046	0,00763
3,9	0,01593	0,01163
3,98	0,01659	0,01211
<b>Promedio</b>	<b>0,010108</b>	<b>0,00738</b>

### 3.4.5 Evaluación de las condiciones operativas

Con el fin de conocer un estimado de la capacidad de manejo del equipo y

almacenamiento, se investigó en historiales de la planta la cantidad aproximada de producto derramado por unidad de tiempo o cualquier eventualidad. De esta manera se consiguió que en condiciones normales, se producen derrames de aproximadamente 500 kg/día y un promedio de 10 toneladas cuando el derrame es inherente a una falla en el proceso. Todo esto se acumula en la planta baja del edificio de granulación (zona N°1) debido a que todos los pisos están conformados por GRATING, el cual es una rejilla metálica que permite que la mayoría del producto derramado en otros niveles se deposite en este sitio. La zona N°2 no produce tanto derrame como la primera, sin embargo, por efecto de control del ambiente de trabajo se requiere la limpieza del sitio esporádicamente, es por esta razón que solo se consideró el flujo másico de aspiración de la zona N°1 por tener mayor valor agregado en el diseño. Esto permitió evaluar la necesidad de un equipo que pudiera manejar cantidades relativamente grandes, considerando los requerimientos de la planta y la disponibilidad de los operadores. En cuanto al almacenamiento dependió del pre-separador el cual debe poseer bolsas (big bags) que permitan el envasado y desalajo en la menor cantidad de viajes y tiempo posible.

#### **3.4.6 Selección del sistema de extracción y filtrado**

Para solucionar el problema se propusieron otras alternativas como un sistema de aspiración centralizada, pero el espacio disponible no era apropiado para una configuración de este tipo, debido a la cantidad de equipos y ductería presentes que dificultaría de manera drástica el trabajo de los operadores en estas zonas. Aunado a esto, este tipo de sistema necesitaría ser de gran magnitud para lograr alcanzar a todos los puntos requeridos. Al final se decidió por un sistema de aspiración móvil, que permitirá un trabajo cómodo de los operadores y acceder a todas las zonas sin ningún problema. En el sistema de filtrado se optó por seleccionar un separador ciclónico como pre-limpiador. Los criterios usados para su selección fueron: las características de las partículas, es un equipo confiable, no posee partes móviles, requiere poco

mantenimiento, su eficiencia aumenta con el tamaño de las partículas a manejar, es el equipo con mejor rendimiento en la separación de sólidos de gases en la actualidad. Para la selección de este equipo se consideró el parámetro de velocidad de admisión del aire al ciclón o lo que es lo mismo la velocidad en el tramo principal. La Fig. 3.8 muestra un separador ciclónico, el cual posee un rendimiento excelente bajo altas cargas de polvo, altas temperaturas y aplicaciones en recuperación de producto. Este equipo de la empresa Donaldson Torit, puede realizar el vaciado en un contenedor o big bags, lo que permite un manejo cómodo del producto aspirado para su posterior uso.



**Figura 3.8. Separador ciclónico marca Donaldson Torit [13].**

También se seleccionó un filtro de aire para ser colocado después del separador ciclónico. Para esta selección se tomó como referencia el equipo de la

marca Downflo Oval (DFO) 1-1 (ver Fig. 3.9). De este equipo se seleccionó el filtro de tipo Torit-Tex de la misma marca. El criterio usado para la selección del colector de polvo y filtro Torit-Tex se basó en la necesidad de controlar la liberación de pequeñas partículas nocivas al ambiente. Este filtro proporciona una eficiencia de filtración excepcional del 99,999 % con partículas de polvo de 0,5 micrones en aplicaciones con materiales húmedos, higroscópicos y aglomerativos. La tecnología de membrana politetrafluoretileno (PTFE) Tetratex de liberación rápida proporciona más fortaleza y máximas capacidades de liberación para aplicaciones difíciles. La Fig. 3.10 muestra el tipo de filtro seleccionado. La ventaja de los filtros DFO (Downflo Oval) se encuentra en su diseño y proporcionan 25 % más capacidad que los colectores de polvo de tamaño similar. Este filtro permite pasar más caudal de aire a través del colector, sin incrementar el espacio necesario o dañar el filtro y su pequeño tamaño permite un diseño compacto y menos espacio requerido para aplicaciones que requieren la máxima eficiencia de la limpieza incluso en los lugares más pequeños y de difícil acceso. Se realizaron modificaciones estructurales al colector de polvo por conveniencia del diseño, debido a que este sistema trae incorporado un ventilador centrífugo y un motor eléctrico de menor capacidad que el requerido en el diseño.



**Figura 3.9. Colector de polvo [13].**



**Figura 3.10. Filtro Donaldson tipo Torit-Tex. [13].**

A partir de la necesidad del tipo de sistema, contaminante y la forma de recolección, también se seleccionó una boquilla de aspiración y unido a esta, un tubo de PVC rígido 0,8 m de longitud, basado en una altura promedio del hombre de 1,72 m con la finalidad de facilitar el manejo del equipo en operación y obtener una posición ergonómica para el operador.

### **3.4.7 Cálculos del sistema de aspiración**

Para seleccionar el ventilador, primero se calculó la velocidad de sedimentación ( $u_t$ ), esta con la finalidad conocer la velocidad de transporte mínima necesaria para evitar que el producto sedimentara y obstruyera las tuberías, se calculó el caudal y velocidad del aire en el tramo principal a partir de la boquilla seleccionada, luego se calcularon las pérdidas de energía debidas a: fricción del gas en tuberías, accesorios en el sistema, roce de sólidos en la tubería, aceleración de las partículas, elevación de las partículas sólidas, codos de la tubería ocasionadas por las partículas sólidas, separador ciclónico. Todo esto con el fin de conocer la variación de presión total ( $\Delta p_{tot}$ ) en el sistema y seleccionar el ventilador que mejor se ajuste a este requerimiento.

### **3.4.8 Selección del ventilador**

Para este diseño se empleará un ventilador centrífugo debido a que este desarrolla presiones mucho mayores que los ventiladores axiales y ofrecen mejor rendimiento en los sistemas de este tipo y su principio de funcionamiento es el mismo de las bombas centrífugas. Los parámetros usados para su selección fueron: la variación de presión total en el sistema ( $\Delta p_{tot}$ ) y el caudal (Q).

### **3.4.9 Diseño de la plataforma móvil**

En esta etapa se diseñó un soporte móvil con la ayuda del programa Soliworks, basado en la carga que deberá resistir y el espacio necesario para colocar el ventilador centrífugo, colector de polvo y separador ciclónico. Esta plataforma permitirá desplazar el equipo y acceder fácilmente a las zonas donde se localiza el problema (equipo portátil). El Apéndice D muestra el plano con todas las medidas necesarias para su fabricación.

## CAPÍTULO 4

### DESARROLLO DEL TRABAJO

#### 4.1 RUTAS CRÍTICAS PARA CADA UNA DE LAS ZONAS

##### 4.1.1 Plata baja del edificio de granulación (Zona N° 1)

Como ya se mencionó en el capítulo 3 (ver Secc. 3.4.3), de manera que el sistema pueda satisfacer las demandas en todos los puntos requeridos, se realizó el ruteo de la ductería considerando el punto más crítico en acceso y pérdida de carga. De esta manera, la zona crítica N° 1 está representada por la planta baja del edificio de granulación. La Fig. 4.1 muestra el recorrido de cada tramo de la ductería en la zona N° 1 y su longitud esta expresada en la Tabla 4.1.

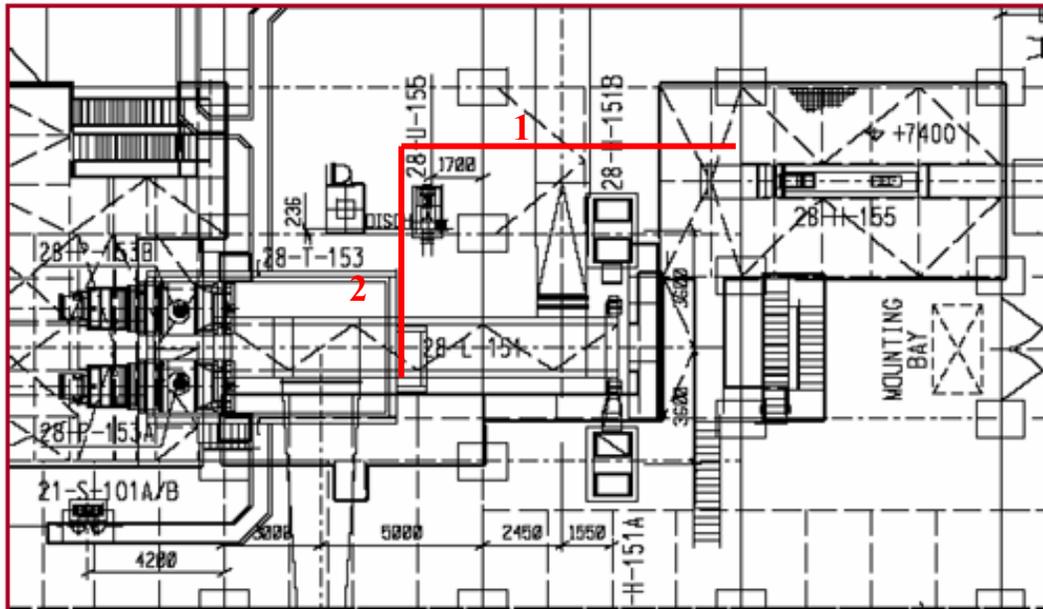


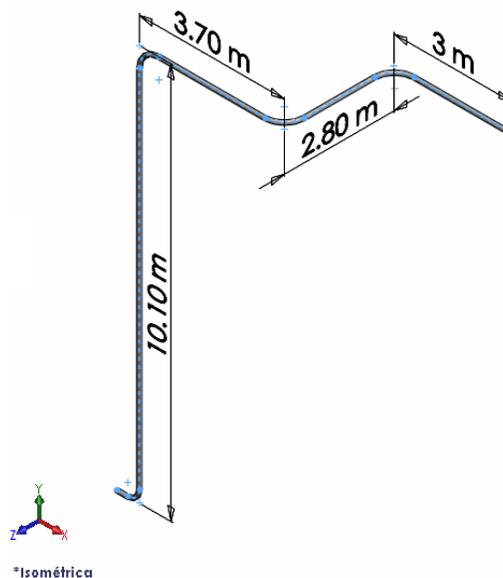
Figura 4.1. Recorrido crítico de la ductería para la zona N° 1 [12].

**Tabla 4.1. Longitudes de tramos de tubería en la zona N° 1 [14].**

Tramo N°	Longitud (m)
1	10
2	7,80

#### 4.1.2 Galería de la cinta transportadora (Zona N° 2)

En este punto es preciso tener en cuenta de igual manera la zona más alejada y considerar la altura a la que se encuentra esta del piso (10,1m). La Fig. 4.2 muestra el isométrico de la ductería.



**Figura 4.2. Isométrico del recorrido crítico de la ductería para la zona N° [15].**

## 4.2 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS

El comienzo del diseño necesitó contar con un flujo másico que se deseaba manejar, a partir de 500 kg de producto derramado diariamente en condiciones normales, como se mencionó en la sección 3.4.5. A partir de una entrevista con el superintendente de

equipos estáticos, se acordó establecer un tiempo razonable de recolección del producto de manera más rápida, tomando como base el tiempo de recolección actual de forma manual (aproximadamente 3 horas). De esta manera se acordó un tiempo de recolección de 20 minutos que equivalen a 1200 segundos para los valores en condiciones normales, que representa en primera instancia un valor importante que permitirá reducir considerablemente el tiempo empleado para cumplir con esta labor y satisfacer los requerimientos de la empresa. De esta manera se tiene:

- $m = 500 \text{ kg}$
- $t = 20 \text{ min} = 1200 \text{ s}$

$$\dot{m}_s = \frac{m}{t}$$

$$\dot{m}_s = \frac{500 \text{ kg}}{1200 \text{ s}}$$

$$\dot{m}_s = 0,4167 \text{ kg/s}$$

Otro factor necesario para el diseño es la densidad del sólido, esta se obtuvo a partir del volumen ( $0,010108 \text{ cm}^3$ ) y el peso promedio ( $0,00738 \text{ gr}$ ) de la muestra, tal como se mostró en la Tabla 3.1. De esta manera se tiene:

$$\rho_s = \frac{m}{V}$$

$$\rho_s = \frac{0,00738 \text{ gr}}{0,010108 \text{ cm}^3}$$

$$\rho_s = 0,730 \text{ gr/cm}^3 \text{ (730 kg/m}^3\text{)}$$

#### 4.2.1 Velocidad de sedimentación de la partícula

Para el estudio de la velocidad de sedimentación de la partícula se necesitó conocer varios parámetros que intervienen en el comportamiento de ésta en un fluido, tales como: densidad de las partículas, viscosidad del fluido (aire) a temperatura ambiente y el diámetro de la partícula, el cual se tomó el mayor de la muestra para permitir un factor de seguridad al diseño. A partir de estos datos se comenzó un proceso iterativo con el número de Reynolds de la partícula, coeficiente de arrastre, velocidad de sedimentación o terminal y una velocidad asumida. La Fig. 4.3 muestra un diagrama de flujo para este proceso iterativo:

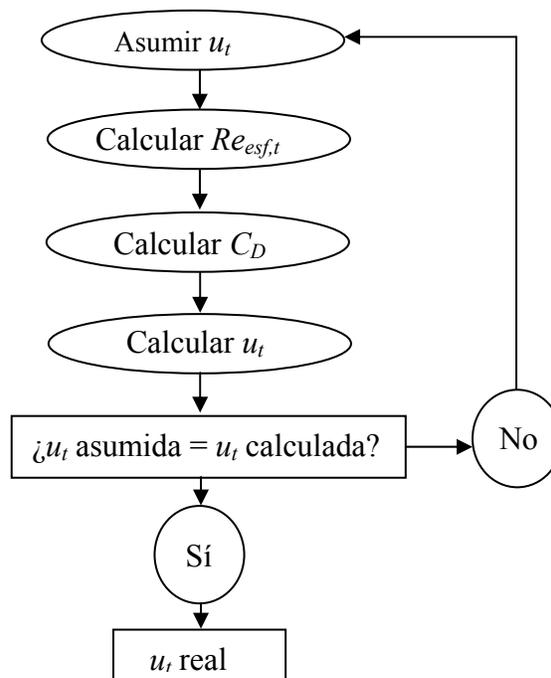


Figura 4.3. Diagrama de flujo del proceso iterativo para hallar  $u_t$  [14].

Primero se asume una velocidad de sedimentación:

$$u_t = 3 \text{ m/s}$$

Propiedades del aire a 20 °C:

$$\rho_g = 1,2 \text{ kg / m}^3 \text{ (Apéndice C)}$$

$$\mu_g = 1,8 \times 10^{-5} \text{ (Apéndice C)}$$

$$d_{esf} = 0,00475 \text{ m}$$

$$\rho_p = 730 \text{ kg / m}^3$$

Con la velocidad asumida se calculó el número de Reynolds de la partícula:

$$Re_{esf,z} = \frac{d_{esf} u_c \rho_g}{\mu}$$

$$Re_{esf,z} = \frac{0,00475 \text{ m} \times 3 \text{ m/s} \times 1,2 \text{ kg/m}^3}{0,000018 \text{ N.s/m}^2}$$

$$Re_{esf,z} = 3166,66$$

Luego se calculó coeficiente de arrastre:

$$C_D = 0,28 \left( 1 + \frac{9,06}{Re_z^{1/2}} \right)^2$$

$$C_D = 0,28 \left( 1 + \frac{9,06}{(3166,66)^{1/2}} \right)^2$$

$$C_D = 0,3774$$

Este valor puede comprobarse gráficamente (ver Apéndice C.1.1) la cual se obtuvo un valor aproximado de 0,38.

Una vez que se tiene el coeficiente de arrastre de la partícula se procede a calcular la velocidad terminal o de sedimentación.

$$u_t = \left( \frac{4gd_{esf}(\rho_s - \rho_g)}{3\rho_g C_D} \right)^{1/2}$$

$$u_t = \left( \frac{4 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,00475 \text{ m} \times (730 \text{ kg/m}^3 - 1,2 \text{ kg/m}^3)}{3 \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 0,3774} \right)^{1/2}$$

$$u_t = 9,999 \text{ m/seg}$$

Este proceso se realiza hasta que la velocidad asumida se iguale a la velocidad de sedimentación calculada. La Tabla 4.2 muestra los resultados de este proceso

$u_t$ (asumida) (m/s)	$\rho_g$ @ 20°C (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu_g$ @ 20°C (kg/m.s)	$d_{esf}$ (m)	$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	$Re_{esf}$	$C_D$	$u_t$ (m/s)
-----------------------------	--	----------------------------	------------------	----------------------------------	------------	-------	----------------

iterativo.

**Tabla 4.2. Resultados del proceso iterativo para la obtención de  $u_t$ . [14].**

3	1.2	0.000018	0.00475	730	950	0.4688	8.972
4	1.2	0.000018	0.00475	730	1266.667	0.4407	9.253
5	1.2	0.000018	0.00475	730	1583.333	0.4220	9.456
6	1.2	0.000018	0.00475	730	1900.000	0.4085	9.611
7	1.2	0.000018	0.00475	730	2216.667	0.3981	9.735
8	1.2	0.000018	0.00475	730	2533.333	0.3899	9.838
9	1.2	0.000018	0.00475	730	2850.000	0.3831	9.924
<b>10</b>	<b>1.2</b>	<b>0.000018</b>	<b>0.00475</b>	<b>730</b>	<b>3166.667</b>	<b>0.3774</b>	<b>9.999</b>

### 4.3 CÁLCULO DE LA BOQUILLA

Para la boquilla de aspiración se seleccionó un tipo sencillo rectangular. La Fig. 4.4 muestra los tipos de boquillas o campanas de captación. El diseño de esta permite conocer el caudal que va a manejar el sistema. Para su cálculo se necesitó establecer: el área transversal, la distancia desde la boquilla hasta el punto a aspirar (el cual como ya se sabe no es una distancia fija, pero a manera de seguridad del diseño se asume una distancia considerable, en este caso es llamado  $Z$ ) y conocer la velocidad de sedimentación de la partícula. Su dimensionamiento está relacionado a la necesidad del problema. La Fig. 4.5 muestra el tipo de boquilla seleccionada y sus características.

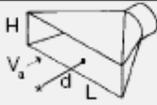
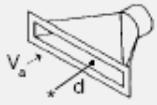
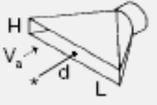
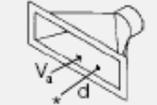
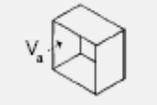
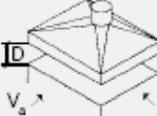
TIPO DE BOCA	ABERTURA	DIMENS.	CAUDAL NECESARIO
 $V_a = \text{Velocidad aire captación}$	RANURA	$\frac{H}{L} \leq 0,2$	$Q = 13500 V_a Ld$
	RANURA CON BRIDA	$\frac{H}{L} \leq 0,2$	$Q = 10000 V_a Ld$
	A CANTO VIVO	$\frac{H}{L} \geq 0,2$	$Q = 3600 V_a (10 d^2 + S)$ $S = L \times H$
	CANTO CON BRIDA	$\frac{H}{L} \geq 0,2$	$Q = 2750 V_a (10 d^2 + S)$ $S = L \times H$
	CABINA	De acuerdo a la función	$Q = 3600 V_a S$
	CAMPANA	De acuerdo a la función	$Q = 5000 V_a PD$ $P = \text{Perímetro [m]}$

Figura 4.4. Tipos de boquillas o campanas de captación [10].

Datos:

- $u_t = 10 \text{ m/s}$
- $z = 0,015 \text{ m}$
- $L = 0,25 \text{ m}$
- $W = 0,10 \text{ m}$
- $\alpha = 40^\circ$

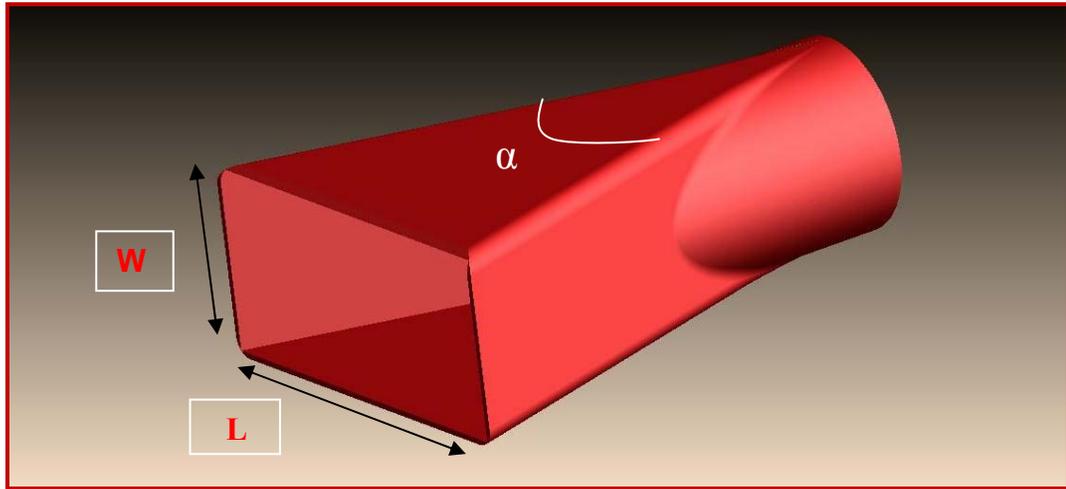


Figura 4.5. Características de la boquilla de aspiración. [15].

$$Q = u_s (10Z^2 + W.L)$$

$$Q = 10 \text{ m/s} (10(0,015 \text{ m})^2 + 0,102 \text{ m} \times 0,22 \text{ m})$$

$$Q = 0,2469 \text{ m}^3/\text{s}$$

Una vez con el valor del caudal, el siguiente paso fue hallar la velocidad en la tubería como se muestra en la Tabla 4.3, la cual se realizó a partir de su diámetro interno. Para obtener la caída de presión generada por la elevación de partículas sólidas, se estableció una altura de hombre promedio de 1,72 m para definir una posición ergonómica y eficiente en el manejo del tubo extractor (ver Fig. 4.6). Por otra parte, la ductería seleccionada debía ser flexible para poder acceder a diferentes puntos sin ningún problema y su diámetro se basó en una medida comercial, considerando el manejo de grandes capacidades de manera cómoda, sin producir grandes pérdidas de energía debido a velocidades de transporte muy elevadas y diámetros muy pequeños, que por otra parte también podrían originar la obstrucción del ducto. La Fig. 4.7 muestra el tipo de tubo a emplear, la cual permite la aspiración

e impulsión de materiales abrasivos (arena, granos, aserrín, etc), aspiración de sustancias reactivas y temperaturas de operación entre -30 y 80 °C.



Figura 4.6. Posición de manejo del equipo. [16].

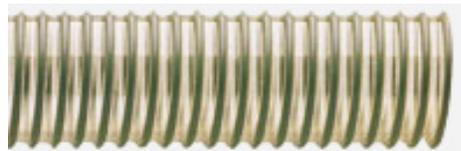


Figura 4.7. Tubería fabricada en poliuretano flexible con espiral de PVC rígido indeformable. [17].

Tabla 4.3. Resultado de la velocidad en la tubería [14].

Díámetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)
0,102	0,0081713	0,2469	30,21

#### 4.4 ESTUDIO DE CAÍDA DE PRESIÓN

##### 4.4.1 Evaluación de la Zona N° 1

Los resultados de este estudio se encuentran expresados desde la Tabla 4.4 hasta la 4.7. En primera instancia para caso de la pérdida por fricción, como ya se mencionó en la sección 3.1.7, se necesitó conocer la rugosidad de la tubería con el fin de obtener el factor de fricción. Esta rugosidad puede obtenerse en tablas de diferentes bibliografías para tuberías flexibles o lisas (ver Tabla C.1 del Apéndice), así como

peso específico del fluido. Las pérdidas por accesorios son debido a la presencia de un codo de 90° y la boquilla de aspiración que es común para cualquier zona. Estos resultados pueden observarse en la Tabla 4.5.

**Tabla 4.4. Resultado de la caída de presión por fricción en la zona N° 1. [14].**

Tramo	L (m)	$\gamma$ (N/m <sup>3</sup> )	D (m)	V (m/s)	$\Delta p_1$ (Pa)
1	10	11.772	0.102	30,21	805,273
2	7.8	11.772	0.102	30,21	628,113
<b>Total</b>					<b>1433,386</b>

**Tabla 4.5. Resultado de la caída de presión por accesorios en la zona N° 1. [14].**

Accesorio	K	$\gamma$ (N/m <sup>3</sup> )	V (m/s)	$\Delta p_2$ (Pa)
Codo	0,16	11.772	30,21	87,613
Boquilla	0,17	11.772	30,21	93,089
<b>Total</b>				<b>180,702</b>

Como ya se mencionó en la sección 3.1.7, para hallar las pérdidas de presión en los sólidos generadas por el roce, aceleración, elevación y en codos, es necesario conocer la velocidad con que estos se desplazan en la misma; este cálculo puede observarse en el Apéndice A.1.3. De esta manera la Tabla 4.6 muestra estos resultados obtenidos de estos factores. Donde:

$\Delta p_3$  = Caída de presión por el roce de las partículas en la tubería.

$\Delta p_4$  = Caída de presión por la aceleración de las partículas.

$\Delta p_5$  = Caída de presión por la elevación de la partícula sólida.

$\Delta p_6$  = Caída de presión en codos de la tubería ocasionado por las partículas.

**Tabla 4.6. Caída de presión originada por las partículas en la zona N° 1. [14].**

$u_s$ (m/s)	$m_s$ (kg/s)	$A_t$ (m <sup>2</sup> )	$\Delta p_3$ (Pa)	$\Delta p_4$ (Pa)	$\Delta p_5$ (Pa)	$\Delta p_6$ (Pa)
22,614	0,4167	0,0081713	121,235	1153,213	81,408	403,624

La caída de presión en el filtro se obtuvo a partir de la gráfica que se muestra en el Apéndice C.5, el cual es proporcionado por el fabricante.

$$\Delta p_{\text{filtro}} = 100 \text{ Pa}$$

El cálculo de la caída de presión en el separador ciclónico puede observarse en el apéndice A.1.7.

$$\Delta p_{\text{ciclón}} = 4380,691 \text{ Pa}$$

A partir de las medidas conocidas del separador ciclónico, colector de polvo y asumiendo inicialmente la altura relativa entre el ventilador y el colector, se calculó la pérdida entre estos tramos. La Fig. 4.8 muestra el tramo entre el separador ciclónico y el colector de polvo (Tramo A) y la Fig. 4.9 muestra el tramo entre el colector de polvo y el ventilador (Tramo B).

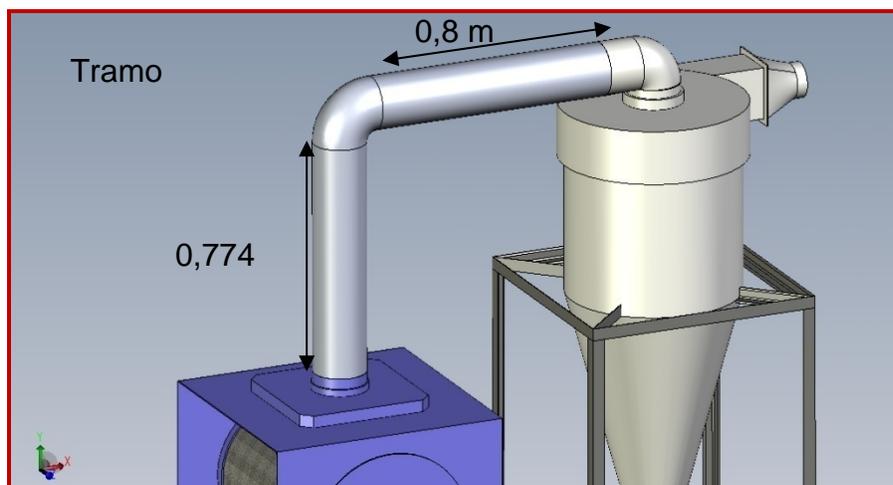


Figura 4.8. Tramo entre el separador ciclónico y el colector de polvo con medidas en m. [15].

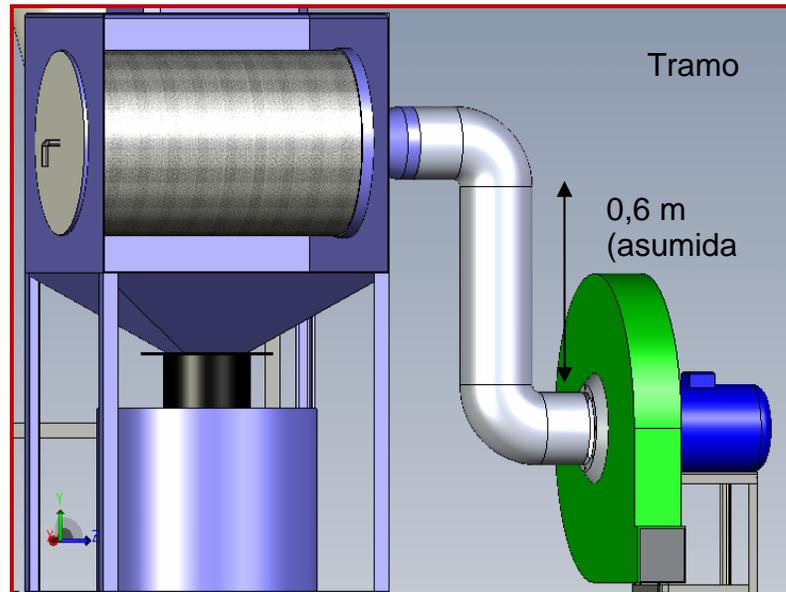


Figura 4.9. Tramo entre el colector de polvo y el ventilador. [15].

En la Tabla 4.7 se puede observar el resultado de las pérdidas primarias y secundarias para ambos tramos.

Tabla 4.7. Resultados de las pérdidas en los tramos A y B. [14].

Tramo A					
Pérdidas	L (m)	D (m)	K	V (m/s)	$\Delta p$ (Pa)
Fricción	1,574	0,152	n/a	13,606	19,208
Codo	n/a	0,152	0,22	13,606	24,436
Tramo B					
Pérdidas	L (m)	D (m)	K	V (m/s)	$\Delta p$ (Pa)
Fricción	0,6 (asumida)	0,165	n/a	11,546	4,944 (asumida)
	0,544 (real)	0,165	n/a	11,546	4,483 (real)
Codos	n/a	0,165	0,23	11,546	36,792

**Tabla 4.8. Total de pérdidas generadas por el sistema en la Zona N° 1. [14].**

<b>Caída de presión total</b>	
$\Delta p_T$	<b>7938,476 Pa</b>

#### 4.4.2 Evaluación de la Zona N° 2

Los resultados de este estudio se encuentran expresados desde la Tabla 4.9 hasta la 4.12.

**Tabla 4.9. Resultado de la caída de presión por fricción en la zona N° 2. [14].**

<b>Tramo</b>	<b>L (m)</b>	<b><math>\gamma</math> (N/m<sup>3</sup>)</b>	<b>D (m)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b><math>\Delta p_f</math> (Pa)</b>
<b>1</b>	10,1	11,772	0,102	30,21	813,325
<b>2</b>	3,7	11,772	0,102	30,21	297,950
<b>3</b>	2,8	11,772	0,102	30,21	225,475
<b>4</b>	3	11,772	0,102	30,21	241,582
<b>Total</b>					<b>1578,332</b>

**Tabla 4.10. Resultado de la caída de presión por accesorios en la zona N° 2. [14].**

<b>Accesorio</b>	<b>K</b>	<b><math>\gamma</math> (N/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b><math>\Delta p_2</math> (Pa)</b>
Codos	0.16	11.772	30,21	350,452
Boquilla	0.17	11.772	30,21	93,083
<b>Total</b>				<b>443,535</b>

**Tabla 4.11. Caída de presión originada por las partículas en la zona N° 2. [14].**

<b><math>u_s</math> (m/seg)</b>	<b><math>m_s</math> (kg/seg)</b>	<b><math>A_t</math> (m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\Delta p_3</math> (Pa)</b>	<b><math>\Delta p_4</math> (Pa)</b>	<b><math>\Delta p_5</math> (Pa)</b>	<b><math>\Delta p_6</math> (Pa)</b>
53,899	0,4167	0,008107	133,495	1153,213	81,408	1614,496

- $\Delta p_{\text{filtro}} = 100$  Pa.
- $\Delta p_{\text{ciclón}} = 4380,691$  Pa.

- Tramo A,  $\Delta p = 43,644 \text{ Pa}$ .
- Tramo B,  $\Delta p = 41,275 \text{ Pa}$ .

**Tabla 4.12. Total de pérdidas generadas por el sistema en la Zona N° 2 [14].**

<b>Caída de presión total</b>	
$\Delta p_T$	<b>9570,089 Pa</b>

#### 4.5 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL SEPARADOR CICLÓNICO

El conocimiento de la eficiencia del separador ciclónico permitió tener una idea de la cantidad de partículas retenidas por este y qué cantidad pasa al filtro. Por esta razón, se calculó la eficiencia del ciclón, donde:

$$D_{corte} = \sqrt{\frac{9 \times 0,1016m \times 1,8 \times 10^{-5} \text{ N.s/m}^2}{2\pi \times 5 \times 30,21m/s \times 730kg/m^3}}$$

$$D_{corte} = 4,87 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\eta = \frac{(2,998mm / 4,87 \times 10^{-3} mm)^2}{1 + (2,998mm / 4,87 \times 10^{-3} mm)^2} \times 100$$

$\eta = 99,9\%$
-----------------

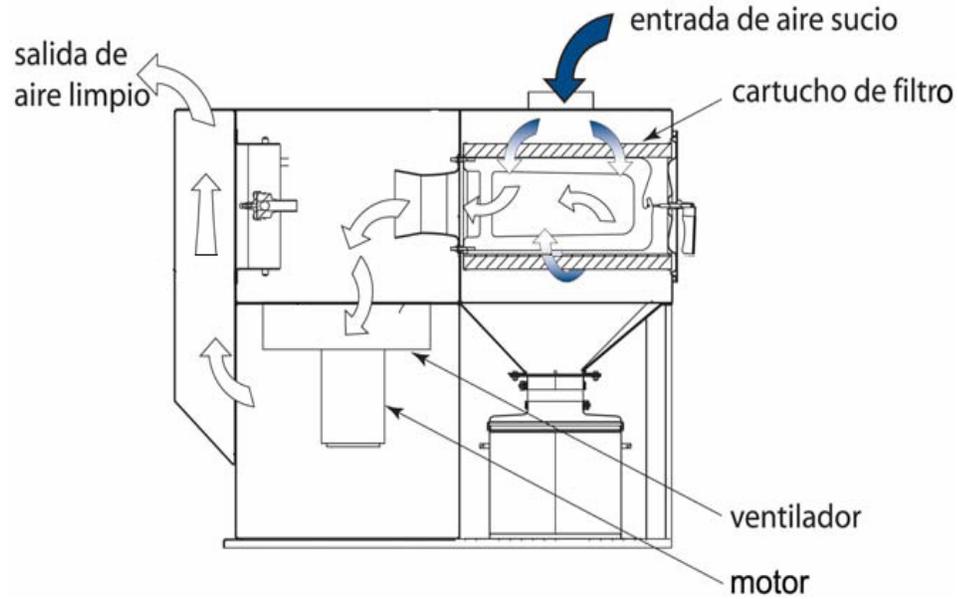
Este resultado expresa que por cada 500 kg recolectados 495 kg son retenidos por el separador ciclónico y 5 kg pasan al colector de polvo. Lo que representa una elevada eficiencia en condiciones iniciales.

#### **4.6 SELECCIÓN DEL VENTILADOR**

A partir de los resultados anteriores se encontró que las mayores pérdidas se generan en las galerías de las cintas transportadoras que van al almacén (Zona N° 2). Por ende se seleccionó la capacidad del ventilador en base a este último de manera que pueda satisfacer los requerimientos de ambas zonas. A partir de los parámetros:  $\Delta p_T = 9570,089 \text{ Pa}$  ( $975,877 \text{ kgf/m}^2$ ) y  $Q = 0,2469 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $14,81 \text{ m}^3/\text{min}$ ) se seleccionó un ventilador fabricado por la empresa Euroventilatori Internacional que cumple perfectamente con las características del sistema, ya que permite la aspiración de aire muy polvoriento y es empleado en las industrias en donde se necesiten pequeños caudales de media y alta presión. De esta manera se seleccionó un ventilador de la serie APE tipo 711/A de 5,5 kW. Los catálogos empleados se encuentran en el Apéndice B.

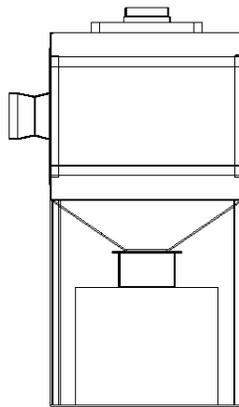
#### **4.7 DISEÑO DEL COLECTOR DE POLVO**

Una vez seleccionado el filtro necesario, en este punto se dispuso a modificar la estructura del colector tal como se mencionó en la Secc. 3.4.6 de acuerdo al requerimiento de un ventilador centrífugo de mayor capacidad. Por este motivo fue necesario adaptar un conducto flexible desde la salida del colector hasta la succión de ventilador. La Fig. 4.10 muestra la configuración original del colector de polvo Downflo Oval 1-1.

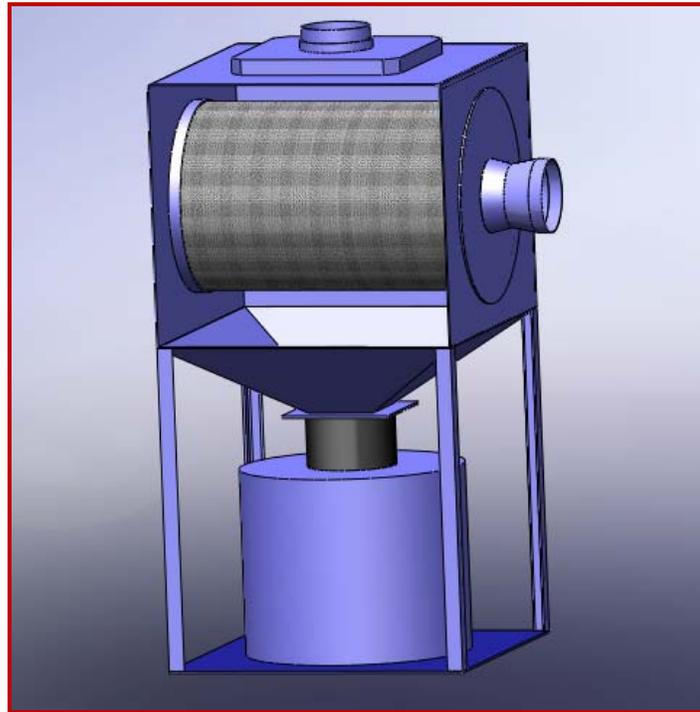


**Figura 4.10. Configuración original del colector de polvo Downflo Oval 1-1. [13].**

El nuevo diseño conserva las medidas del original, pero la diferencia principal radica en que se eliminó el compartimiento del ventilador y el motor, lo que generó un diseño más sencillo y compacto. Las Figs. 4.11 y 4.12 muestran la nueva configuración del colector de polvo.



**Figura 4.11. Nueva configuración del colector de polvo. [15].**



**Figura 4.12. Nueva configuración sencilla y compacta del colector de polvo. [15].**

#### **4.8 DISEÑO DE LA PLATAFORMA MOVIL**

Una vez seleccionado el ventilador, separador ciclónico y diseñado el colector de polvo, el diseño de la plataforma se basó en las medidas de cada uno de estos componentes y considerando el espacio necesario para conectarlos entre sí, así como el peso que debe soportar. De esta manera la Fig. 4.13 muestra la configuración más cómoda y que permitió el ahorro de espacio. Las medidas de la plataforma se pueden observar en el Apéndice D.

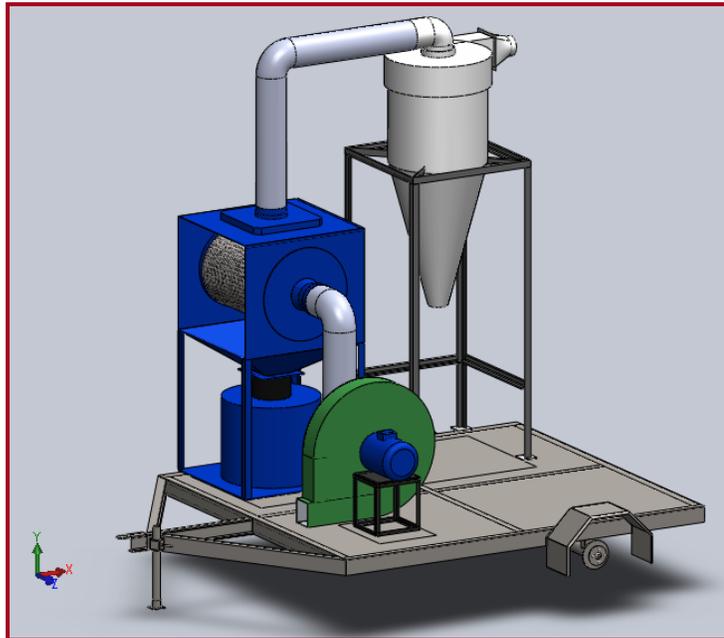
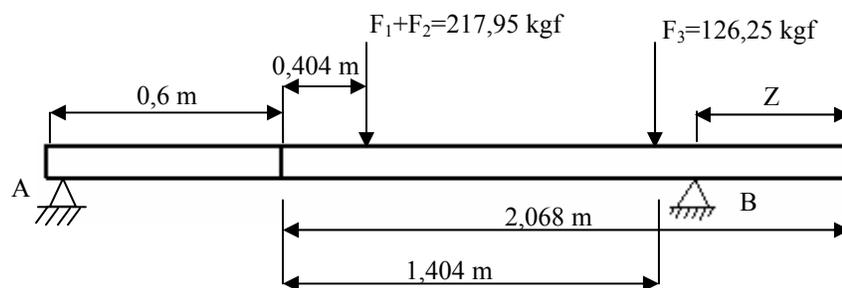


Figura 4.13. Configuración del sistema de aspiración sobre la plataforma. [15].

Basado en esta configuración se calculó la posición del eje de las ruedas, de manera que no pivotee hacia atrás cuando este se encuentre desenganchado del vehículo que lo transporte.



$$\curvearrowright + \sum M_B = 0$$

$$(F_1 + F_2) \times (2,068\text{m} - 0,404\text{m} - Z) - A_y \times (0,6\text{m} + 2,068 - Z) - F_3 \times (2,068\text{m} - 1,404\text{m} - Z) = 0$$

$$\Leftrightarrow 217,95 \text{ Kg} \times (1,664\text{m} - Z) - A_y \times 2,668\text{m} - Z - 126,25 \text{ Kg} \times (0,664 - Z) = 0$$

$$\Rightarrow A_y = \frac{217,95 \text{ Kg} \times (1,664 - Z) - 126,25 \text{ Kg} \times (0,664 - Z)}{(2,668 - Z)} \quad (4.1)$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$A_y - 217,95 \text{ kg} - 126,25 \text{ kg} + B_y = 0$$

$$\Rightarrow A_y = 344,2 \text{ Kg} - B_y \quad (4.2)$$

$$\curvearrowleft + \sum M_A = 0$$

$$-217,95 \text{ kg} \times (1,004 \text{ m}) - 126,25 \text{ kg} \times (2,004 \text{ m}) + B_y \times (2,668 \text{ m} - Z) = 0$$

$$\Rightarrow 218,82 - 253,005 + B_y (2,668 - Z) = 0$$

$$B_y = \frac{471,82 \text{ Kg.m}}{(2,668 \text{ m} - Z)} \quad (4.3)$$

Sustituyo (4.2) en (4.1)

$$B_y = 344,2 - \left( \frac{217,95 \text{ kg} \times (1,664 \text{ m} - Z) - 126,25 \text{ kg} \times (0,664 - Z)}{(2,668 - Z)} \right) \quad (4.4)$$

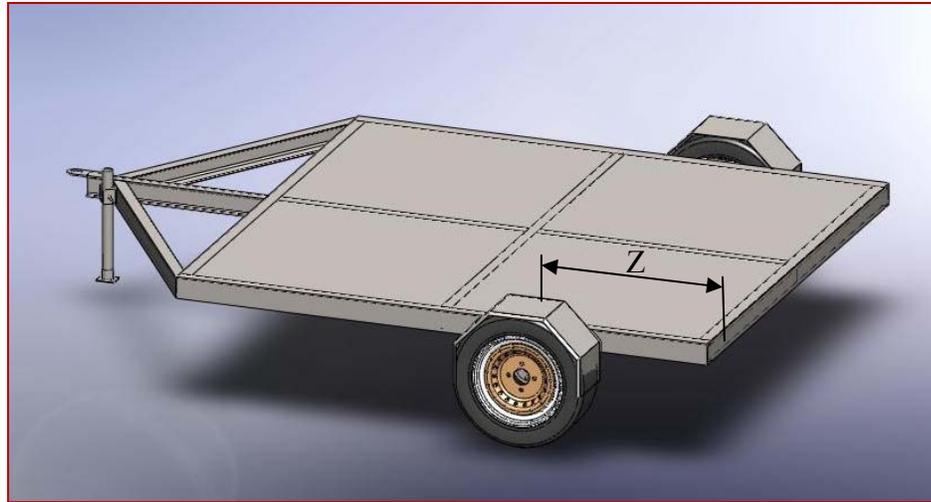
Igualando (4.4) y (4.3)

$$344,2 - \left( \frac{217,95 \text{ kg} \times (1,664 \text{ m} - Z) - 126,25 \text{ kg} \times (0,664 - Z)}{(2,668 - Z)} \right) = \frac{471,82 \text{ kg.m}}{(2,668 - Z)}$$

$$\Rightarrow (2,668 - Z) \times 344,2 - (362,66 - 217,95Z - 83,83 + 126,25Z) = 471,82 \text{ Kg.m}$$

$$\Rightarrow \boxed{Z = 0,664 \text{ m}}$$

De esta manera la Fig. 4.14 muestra la ubicación resultante para el eje de las ruedas.

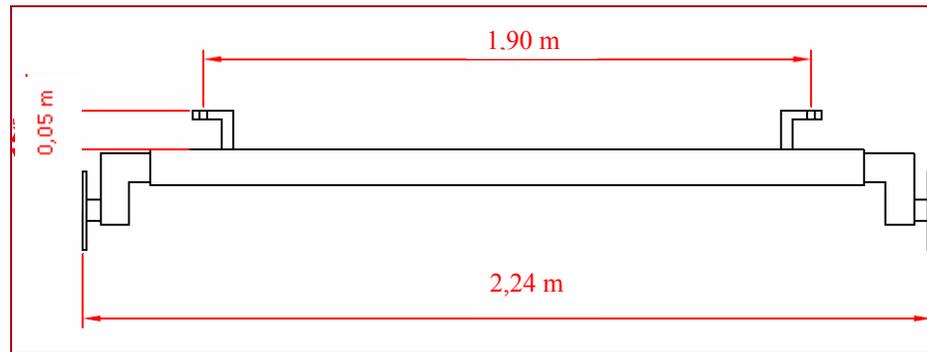


**Figura 4.14. Ubicación del eje de las ruedas para  $z = 0,664$  m. [15].**

Se seleccionó un sistema de eje sin freno para remolque de 550 kg, como se muestra en la Fig. 4.15, y sus dimensiones se encuentra representados en la Fig. 4.16.

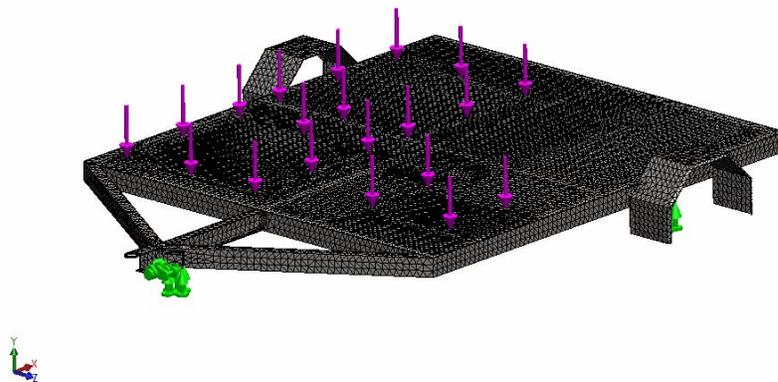


**Figura 4.15. Sistema de eje sin freno para remolque de 550 kg. [18].**

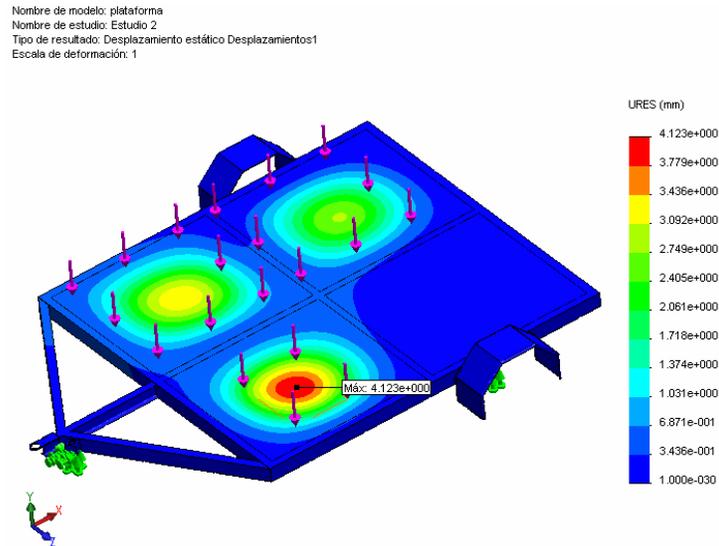


**Figura 4.16. Dimensiones del sistema de eje sin freno para remolque. [18].**

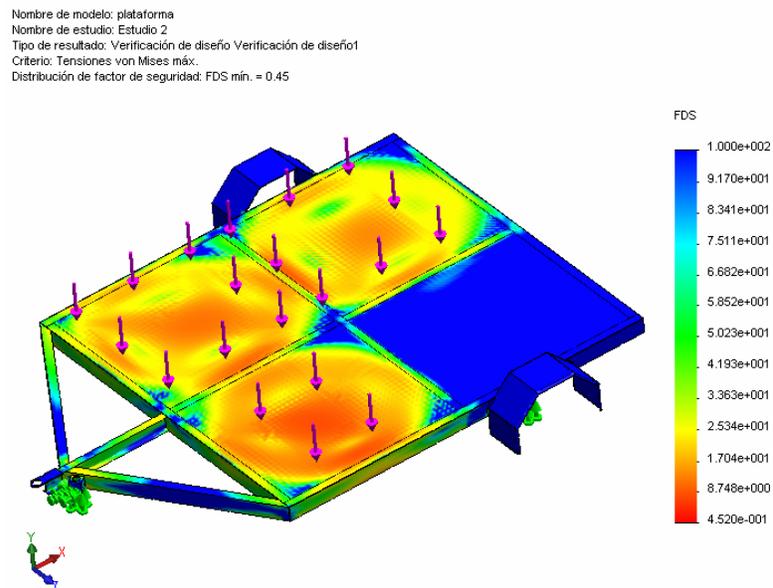
Una vez decidido la configuración de los componentes del sistema sobre la plataforma y la ubicación del eje de las ruedas, se realizó un análisis computacional mediante elementos finitos usando la aplicación estructural CosmoWorks del software comercial SolidWorks 2008. De esta manera se simuló una primera configuración para los soportes estructurales disponibles en la empresa, los cuales son: plancha metálica de 3 mm ASTM A36, canales UPN y vigas IPN 80 del mismo material. La Fig. 4.17 muestra el mallado, restricciones y aplicación de carga sobre la estructura. Los resultados de la simulación para la primera configuración se muestran desde la Fig. 4.18 hasta la Fig. 4.19, donde se puede apreciar el desplazamiento estático y el factor de seguridad respectivamente.



**Figura 4.17. Visualización del mallado, restricciones y aplicación de cargas en la plataforma para la primera configuración. [15].**



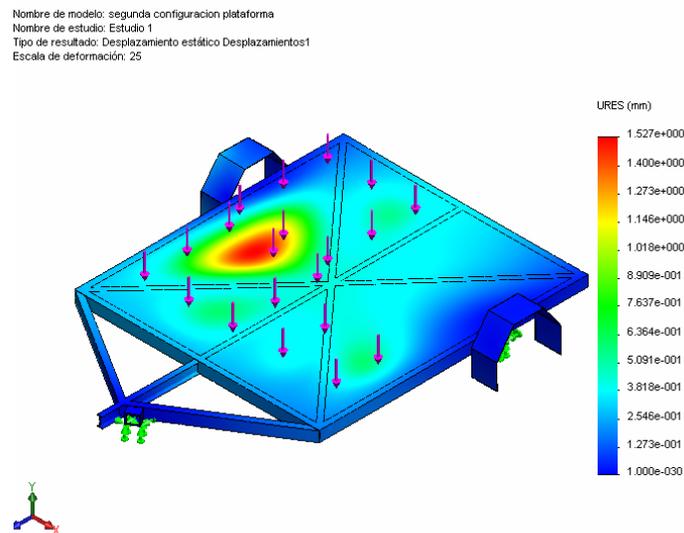
**Figura 4.18. Desplazamiento estático de la primera configuración. [15].**



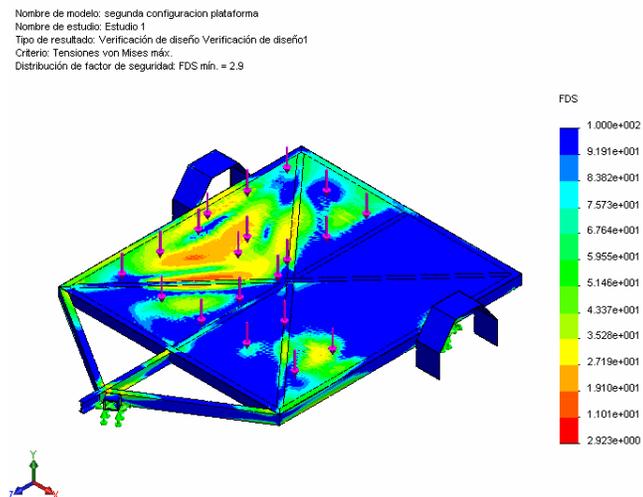
**Figura 4.19. Factor de seguridad del la primera configuración. [15].**

Los resultados obtenidos para la primera configuración no fueron favorables debido a que se obtuvo un desplazamiento estático máximo de la plancha de 4,12 mm y un factor de seguridad mínimo de 0,45. Es por esta razón que se realizó una

segunda configuración de los soportes estructurales, de manera de disminuir el desplazamiento estático de la plancha y aumentar el factor de seguridad. Esta segunda configuración se puede apreciar en la Figs. 4.20 y 4.21 donde se muestra nuevamente el desplazamiento estático y factor de seguridad respectivamente.



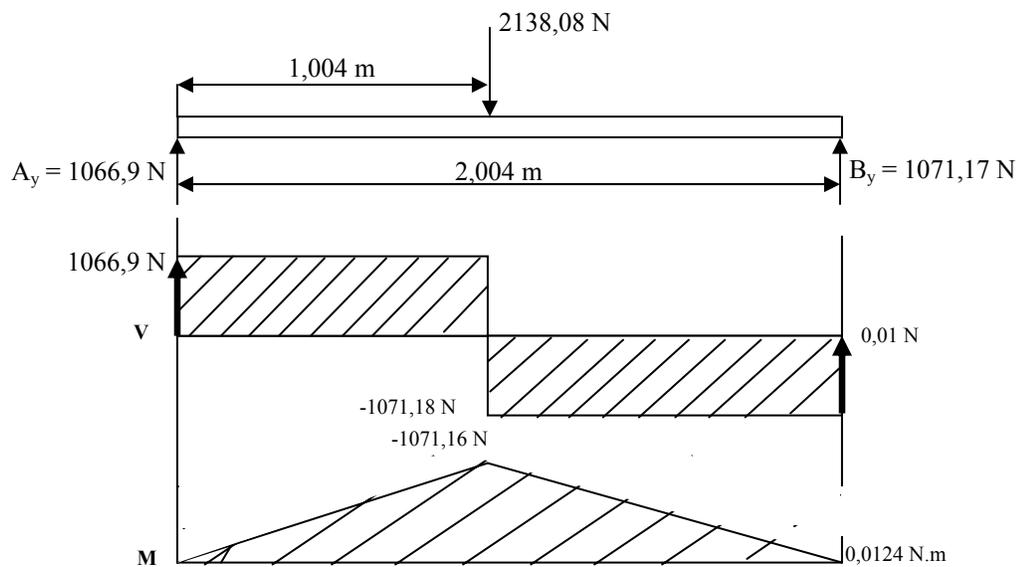
**Figura 4.20. Desplazamiento estático de la segunda configuración. [15].**



**Figura 4.21. Factor de seguridad de la segunda configuración. [15].**

Con el fin de validar un poco los resultados obtenidos en el software se calculó manualmente el esfuerzo de flexión en un tramo de la estructura, así como el esfuerzo normal promedio, esfuerzo normal máximo y esfuerzo cortante doble en el apoyo de la plataforma.

- **Cálculo de esfuerzo de flexión**



$$M_{\max} = 1071,16 \text{ N.m.}$$

Para vigas IPN 80 ASTM A 36 :  $I_x = 77,8 \text{ cm}^4$ ,  $S_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma$  = Esfuerzo de flexión, Pa.

M = Momento, N.m.

C = Fibra, m.

I = Momento de inercia,  $\text{m}^4$ .

$S_y$  = Esfuerzo de fluencia,  $\text{kg/cm}^2$ .

$$\sigma = \frac{M.c}{I} \quad (4.5)$$

$$\sigma = \frac{1071,16 \text{ N.m} \times 0,04 \text{ m}}{7,78 \times 10^{-7}}$$

$$\sigma = 55,072 \text{ MPa}$$

Comparando con  $S_y = 245,16 \text{ MPa}$ .  $S_y > \sigma$ . Lo que genera un factor de seguridad a la fluencia de 4,45. A pesar de representar un valor un poco alto debemos considerar el factor económico que significa para la empresa, fabricar con los materiales que se encuentren en almacén.

- **Esfuerzo normal promedio en el apoyo**

La Fig 4.22 muestra un diseño sencillo del apoyo de la plataforma, en el cual se usó un tubo de acero estructural ASTM A500 debido a su disponibilidad en taller y alta resistencia a la fluencia.

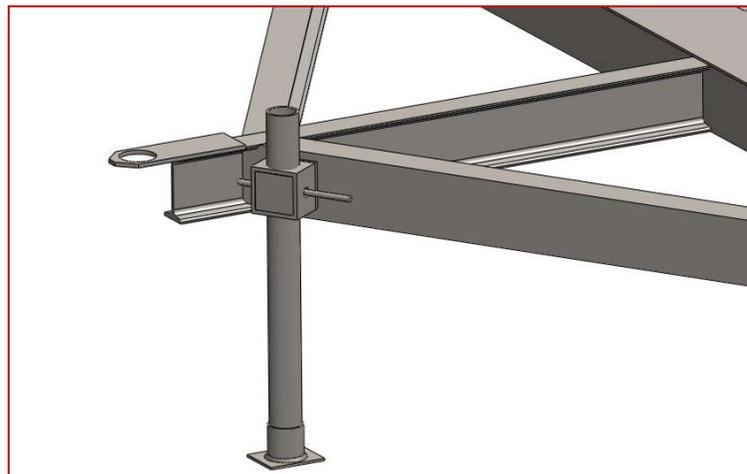


Figura 4.22. Apoyo de la plataforma. [15].

Tubo de acero ASTM A500,  $S_y = 3515 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $I = 9,14 \text{ cm}^4$ ,  $D_e = 76,2 \text{ mm}$ ,  
 $D_i = 71,7 \text{ mm}$ .

$$A = \frac{\pi}{4}(D_e^2 - D_i^2) \quad (4.6)$$

$$A = 5,277 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (4.7)$$

$$\sigma = \frac{1066,9 \text{ N}}{5,277 \times 10^{-4}}$$

$$\sigma = 2,041 \text{ MPa}$$

- **Esfuerzo normal máximo en el apoyo**

El Esfuerzo normal máximo se encuentra en el área mínima del tubo, en este caso donde se ubica el pasador, el cual posee un diámetro de 10 mm. Esta área mínima se puede observar en la Fig. 4.23.

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A_{min}} \quad (4.8)$$

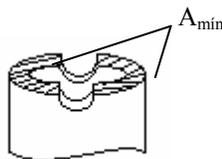


Figura. 4.23. Área mínima en el apoyo. [14].

$$\sigma_{max} = \frac{1066,9 \text{ N}}{4,775 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{max} = 2,233 \text{ MPa}$$

Comparando con el  $S_y = 344,703 \text{ MPa}$ .  $\sigma < S_y$ .

- **Esfuerzo cortante en el pasador**

Acero ASTM 40:  $S_y : 2800 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $D = 9,53 \text{ mm}$ .

$\tau$  = esfuerzo cortante, Pa.

$A_p$  = área transversal del pasador,  $\text{m}^2$ .

$$\tau = \frac{F}{2A_p} \quad (4.9)$$

$$\tau = \frac{1066,9 \text{ N}}{2 \times 7,133 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\tau = 7,478 \text{ Mpa}$$

Comparando con el  $S_y = 275 \text{ MPa}$ .  $\tau < S_y$ .

Con estos resultados se puede apreciar que la estructura posee un factor de seguridad elevado, pero como ya se mencionó, esto se debe a que los cálculos fueron

basados en los recursos que se encuentran disponibles en el almacén, con el fin de evitarle a la empresa la compra de nuevos materiales.

#### 4.9 ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico es el factor primordial que evalúa la rentabilidad económica del proyecto. Su objetivo principal es determinar el monto de los recursos económico necesarios para la realización del mismo. El método que se utilizó en esta evaluación es el valor presente neto (VPN)

##### 4.9.1 Inversión inicial

La inversión inicial comprende la adquisición de todos los materiales y equipos necesarios para la fabricación e instalación del sistema de aspiración portátil. La Tabla 4.13 muestra la descripción de la inversión inicial.

**Tabla 4.13. Descripción de la inversión inicial. [14].**

<b>Materiales y equipos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (Bs)</b>	<b>Precio total (Bs)</b>
<b>Materiales</b>			
Lamina de acero estriada 1.00 x 2.40 m e=3 mm (56.16 Kg)	2	2.18 /kg	244,86
Perfil de acero laminado UPN- 80 6.08 kg/m L=12 mts	1	5.87 /kg	428,28
Perfil IPN 80 L = 12 m ( 6,10 kg/m)	1	5.45/ kg	398,94
Perfil acero circular d=3 1/2" e = 2,25 mm 4.81 k/m L = 12 m	1	4,68/kg	270,13
Eje para remolque 550 kg	1	1006,62	1.006,62
Lamina de acero 1.00 x 2.40 m e = 3 mm (56.16 kg)	1	2.18 /kg	122,43
Angulo estructural 50 x 50 x 7 mm L=12m (5,15 kg/ml)	1	234,22/kg	234,22
Tubería de poliuretano con espiral de pvc rígido indeformable (4 plg)	20 m	5,13/ m	102,68
Tubería de poliuretano con espiral de pvc	1,8 m	5,74/ m	11,48

rígido indeformable (6 plg)			
Tubería de poliuretano con espiral de pvc rígido indeformable (6 ½ plg)	0,8 m	6,64/m	6,64
<b>Equipos</b>			
Ventilador centrífugo Euroventilatori Internacional serie APE tipo 711/A de 16 m <sup>3</sup> /min.	1	19872,00	19.872,00
Motor eléctrico de 5,5 Kw.	1	4825,7	4.825,7
Separador ciclónico Donaldson Torit modelo 12	1	1290	1.290
Filtro de aire Torit-Tex Downflo oval	1	408,5	408,5
<b>Total</b>			<b>29.222,48</b>

#### 4.9.2 Costos para establecer los flujos netos de caja (F.N.C.)

Para establecer los flujos netos de caja se analizaron dos escenarios. El primero de ellos fue el pago del personal contratado por la empresa para recoger el producto derramado manualmente, el cual está conformado por una cuadrilla de siete (7) empleados con un sueldo mensual de 2.800 Bs. cada uno, lo que significa un total de 19.600 Bs. mensuales y 235.200 Bs anuales, y el segundo escenario corresponde al pago del operador del equipo propuesto, con un sueldo mensual de 2.800 Bs., lo que significa un total de 33.600 Bs. anuales. A demás de esto, también se estableció el costo por mantenimiento sistemático del filtro de cartucho el cual el fabricante recomienda cambiarlo anualmente y el mismo tiene un costo de 408,5 Bs cada uno.

Para efectos de la evaluación se estimó un incremento salarial del 5% anual y un 3% en el costo por mantenimientos. En la Tabla 4.14 se muestra la proyección para los próximos cinco (5) años.

**Tabla 4.14. Proyección de pagos a los empleados. [14].**

Año	Pago a la cuadrilla (Bs)	Costo por mantenimiento (Bs)	Pago al operador (Bs)
1	235.200	408,5	33.600
2	246.960	420,75	35.280
3	259.308	433,37	37.044
4	272.273,4	446,37	38.896,2
5	285.887,07	459,76	40.841,01

#### 4.9.3 Diagrama de flujo de caja del proyecto.

En el diagrama de flujo de caja se presenta la inversión inicial para  $n = 0$ , sucesivamente para  $n = 1, 2, 3, 4, 5$ , se colocaron las cantidades correspondiente al flujo netos de efectivo calculados en la Tabla 4.14; adicionalmente se señala la utilización de la tasa mínima atractiva de retorno (T.M.A.R) de 32,8% (tasa de inflación para el 2010). Este diagrama sirve de base para el cálculo del valor presente neto.

Los flujos de caja se representarán de la siguiente manera, los flujos positivos o ganancias anuales con una flecha hacia arriba y los flujos negativos o desembolso con flecha hacia abajo. Esto se puede observar en la Fig. 4.24, la cual muestra el diagrama de flujo de caja del proyecto.

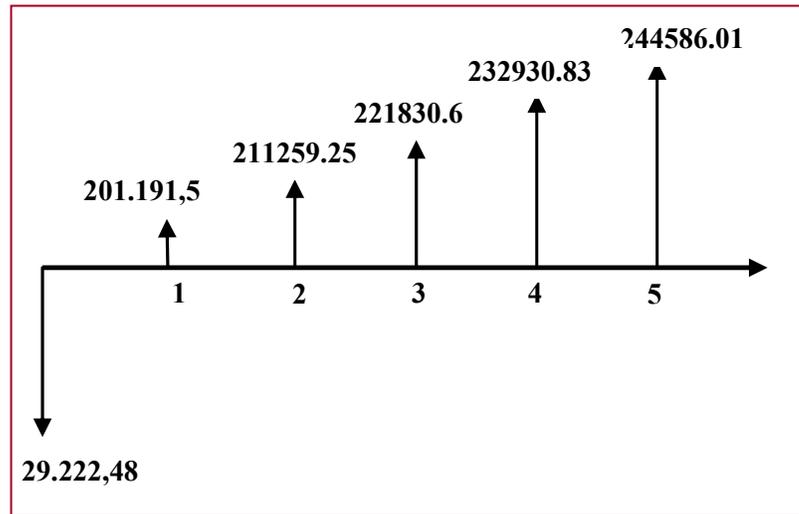


Figura 4.24. Diagrama de flujo de caja del proyecto. [14].

#### 4.9.4 Cálculo del valor presente neto (VPN).

Es necesario definir las funciones económicas en los sistemas digitalizados:

VA: devuelve el valor presente de una inversión, la suma total del valor actual de una serie de pagos futuros. El valor de VA está representado por la fórmula:

$$VA(tasa;nper;[vf];[tipo]) \text{ Office Excel 2007}$$

Donde:

VA = Valor actual o valor presente.

Tasa(i) = Tasa mínima atractiva de retorno.

nper = Numero de periodos.

Vf = Valor futuro.

VNA: devuelve el valor neto presente de una inversión a partir de una tasa de descuento y una serie de pagos futuros y entradas.

El valor de VNA se representa por la fórmula:

- VNA (*tasa*;[*valor1*];[*valor2* ].) Office Excel 2007.

La hoja de cálculo de la Fig. 4.25 muestra el valor de VNA resultante, lo que expresa la rentabilidad del proyecto.

	B	C	D	E	F	G
16	Año	1	2	3	4	5
17	FNC	Bs 151,499.62	Bs 119,789.73	Bs 94,716.86	Bs 74,891.87	Bs 59,216.30
18	invercion inicial	Bs 29,222.48				
19	i(TMAR)	32.80%				
20	n	5				
21	VNA	Bs 231,640.60				

**Figura 4.25. Hoja de cálculo de Excel para obtener VNA. [14].**

Con resultados de la Fig. 4.25 se puede observar que el proyecto es rentable debido a que arrojó un valor positivo de VNA = 231.640,60 Bs. Por otra, es importante mencionar que aunque en análisis está hecho para 5 años, la inversión inicial se recupera en aproximadamente mes y medio.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Para el estudio de fluidos con partículas es necesario conocer muy bien las propiedades y características del producto a extraer, en este caso eran partículas de fertilizante, con tamaños que iban desde 1,4 mm hasta 4,55 mm de diámetro en la muestra tomada, lo que permitió conocer posteriormente el volumen y peso de cada una. En este caso se obtuvo un peso y volumen promedio por partícula de 0.00738 gr y 0,010108 cm<sup>3</sup> respectivamente, cuyo efecto se ve reflejado con valores altos de caída de presión por las partículas, así como también la higroscopía del producto, necesario para selección del tipo de filtro a emplear.
- En estos estudios es importante conocer la forma de las partículas y cuanto se va a extraer. Para este estudio fueron partículas de fertilizante de forma esférica, el cual no presentó ningún problema al momento de los cálculos, debido a que las ecuaciones y las gráficas usadas estaban expresadas en formas geométricas conocidas lo que aumentó la confiabilidad de los resultados. En cuanto a la cantidad de material, se tienen que extraer un aproximado de 500 kg diarios en condiciones normales, lo que expresa una gran cantidad de producto pero es representativo del problema.
- Para seleccionar el sistema de filtrado formado por el separador ciclónico y el filtro de cartucho, se consideró el tamaño, forma, e higroscopía de la partícula, así como la velocidad del aire en la tubería (5946,85 pie/min). Considerando también el hecho de que la eficiencia del separador ciclónico es proporcional al

tamaño de las partículas, no poseen partes móviles y requieren poco mantenimiento. Aunado a esto, también se modificó el diseño del colector de polvo de manera que pudiera emplear un ventilador centrífugo de mayor capacidad.

- El ventilador seleccionado, fabricado por la empresa Euroventilatori Internacional, cumple perfectamente con las características del sistema. Para seleccionar el ventilador fue necesario realizar una serie de cálculos basados en las condiciones más críticas que se puede operar el equipo. De esta manera se obtuvo como resultado que la zona con mayor caída de presión fue la N° 2 con un valor de 9259,638 Pa.
- Los resultados de la pérdida de carga máxima permitió seleccionar el ventilador APF tipo 711/A de 5,5 kW, fabricado por la empresa Euroventilatori Internacional, el cual cumple perfectamente con las características del sistema, ya que permite la aspiración de 0,2469 m<sup>3</sup>/s de aire muy polvoriento y es empleado en las industrias en donde se necesiten pequeños caudales de media y alta presión.
- En los resultados obtenidos del diseño de la plataforma se obtuvo un desplazamiento estático máximo de la plancha de 1,5 mm y un factor de seguridad mínimo de 2,9, esto se debe a que los cálculos fueron basados en los recursos que se encuentran disponibles en el almacén y taller mecánico, con el fin de evitarle a la empresa la compra de nuevos materiales.
- La selección del tipo de boquilla de aspiración se basó en la necesidad del tipo de sistema, el tipo de contaminante y la forma de recolección. Para este trabajo se

usó una boquilla sencilla con abertura de tipo a canto vivo sin pestañas debido a que ocupan un espacio innecesario.

- Cuando se realiza el dimensionamiento y selección del tipo de tubería a emplear se debe considerar la distancia más alejada que podrá acceder el equipo hasta el foco del problema así como las características del producto a aspirar. Para el presente trabajo se seleccionó una tubería fabricada en poliuretano flexible con espiral de PVC rígido indeformable ideal para sustancias reactivas y materiales abrasivos.
- El análisis económico arrojó un valor presente (VP) de 232.159,63 Bs. con una tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) de 32,8% y un periodo de 5 años, determinando que con este diseño se pueden solucionar los problemas de costos debidos al derrame de urea granulada de la empresa FERTINITRO C.E.C.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Implementar este diseño en el sector de granulación, transporte y almacenaje de la planta Fertinitro C.E.C.
- Mantener las áreas secas y libres de humedad, lo que implica la necesidad de evitar el uso de agua como método de limpieza de las zonas, debido a que la propiedad higroscópica del fertilizante produce aglutinamientos que dificultan la absorción del producto y funcionamiento del sistema.
- Realizar un análisis computacional del sistema con la ayuda de algún Software que permita simular el comportamiento del fluido y así aumentar por otro medio la confiabilidad de los resultados.

- El empleo de un acero al carbono convencional en la estructura y partes del sistema implica la necesidad de pintar cada componente usando pinturas anticorrosivas debido a la exposición del equipo a un ambiente propenso a este factor.

## BIBLIOGRAFIA

1. Hernández Mejías, L. M. **Diseño de un sistema de ventilación por extracción localizada que disminuya la concentración de partículas de papel en el aire de la planta de rotativas de un diario local.** Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, Venezuela (2009).
2. Orta Acuña, L. M. **Diseño de un succionador de material a granel para el área de envarillado de La Planta de Carbón de CVG VENALUM.** Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, Venezuela (2007).
3. Belisario C, C. G. **Diseño de un sistema neumático para extracción de vísceras de sardina.** Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, Venezuela (1995).
4. Textoscientificos. Disponible en pagina web:/ [www.textoscientificos/Urea](http://www.textoscientificos/Urea). (2008).
5. wikipedia. Disponible en pagina web:/ [www.wikipedia/Corrosión](http://www.wikipedia/Corrosión). (2007).
6. Levenspiel O. **Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor**, Editorial Reverté S.A, España (1993).
7. Mataix C. **Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas**, Cuarta Edición. Editorial Harla S.A, México (1975).
8. Diquima. Ciclones. Disponible en pagina web:/ [www.diquima.upm.es/ciclones](http://www.diquima.upm.es/ciclones). (2006).

9. Control de Emisiones a la Atmósfera. Disponible en pagina web: /  
[www.frbb.utn.edu.ar](http://www.frbb.utn.edu.ar). (2007).
10. Salvador Escoda S.A. **Manual Práctico de Ventilación**, (2002).
11. PDVSA., **Manual de Ingeniería de Diseño**, Volumen 13-III, Filial de Petróleos de Venezuela, Caracas, Venezuela, (1994).
12. **FERTINITRO C.E.C.**
13. Catálogo Donalson Torit (2008).
14. Elaboración Propia.
15. Elaboración Propia. SolidWorks 2008.
16. Standard industrie. Disponible en pagina web: /[www.standard-industrie/espagnol/uma\\_camion](http://www.standard-industrie/espagnol/uma_camion). (2009).
17. Catálogo Flexiplas S.A. (2009).
18. Remolques Sansaloni. Disponible en página web: / [www.remolquessansaloni.com](http://www.remolquessansaloni.com). (2007).

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

<b>TÍTULO</b>	“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ASPIRACIÓN PORTÁTIL DE UREA PARA LAS ÁREAS DE PRODUCCIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAJE EN EL SECTOR DE GRANULACIÓN DE LA PLANTA FERTINITRO C.E.C.”
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CVLAC / E MAIL
Nightingale Noguera, Jonathan Emmanuel	CVLAC: 18.939.521 E MAIL: jenn060587@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:

**PALABRAS O FRASES CLAVES:**

Aspiración Portátil

Partículas de Urea

Separador Ciclónico

Efecto de Partículas Sólidas en los Flúidos

Plataforma Móvil

Análisis Económico

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

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y ciencias aplicadas	Ingeniería Mecánica

**RESUMEN (ABSTRACT):**

El presente trabajo se basó en el diseño de un sistema de aspiración portátil, el cual tiene como finalidad extraer las partículas de urea derramada del proceso de granulación y transporte de la empresa Fertinitro C.E.C., esto se hizo con la finalidad de disminuir los costos de mantenimiento y el tiempo empleado por los trabajadores para su recolección. Para realizar este diseño primero se hizo un estudio de la zona donde se presenta el problema y las propiedades de la urea a tratar a fin de seleccionar el sistema de separación a emplear. Una vez realizado esto se procedió a calcular cada uno de los parámetros necesarios para obtener la caída de presión del sistema y el volumen de urea a recolectar para luego seleccionar el tipo y la capacidad del ventilador, el cual resultó de tipo centrífugo fabricado por la empresa Euroventilatori Internacional serie APE tipo 711/A con capacidad de 16 m<sup>3</sup>/min y una potencia de 5,5 kw. Una vez conocidas las dimensiones y pesos de los separadores, las características del ventilador, se procedió a diseñar la plataforma necesaria para trasladar el equipo a las zonas donde se localiza el problema. Con este diseño de extracción de urea se espera solucionar los problemas de costos y de mantenimiento de este sector de la empresa, por el cual se realizó un análisis económico mediante el método de Valor Presente Neto (VPN) con una tasa mínima atractiva de retorno

(TMAR) de 32,8% y un periodo de 5 años, generando un VP = 232.159,63 Bs., lo que representa la rentabilidad del proyecto.

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

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS - X	TU	JU
Rodriguez, Edgar	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Martinez, Johnny	ROL	CA	AS	TU	JU - X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Bittar, Simón	ROL	CA	AS	TU	JU - X
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b>2010</b> AÑO	<b>11</b> MES	<b>25</b> DÍA
--------------------	------------------	------------------

LENGUAJE. SPA

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
TESIS. JONATHAN NIGHTINGALE. 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:**

PRE-GRADO

**ÁREA DE ESTUDIO:**

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

**INSTITUCIÓN:**

UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO ANZOÁTEGUI.

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

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado.

"Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización"

**NIGHTINGALE NOGUERA, JONATHAN EMMANUEL**

AUTOR

Martínez, Johnny

**JURADO**

Rodríguez, Edgar

**TUTOR**

Bittar, Simón

**JURADO**

**POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS**

Diógenes Suárez