

República de Cuba
Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Mecánico

Título: *Evaluación del proceso de limpieza de gases de la Unidad Básica de Producción Secadero en la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”*

Autor: *Fidelqui Terrero Peña*

Tutores: *Dr. Enrique Torres Tamayo*

Ing. Orlando Vega Árias

Moa – 2012
“Año 54 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: **Fidielqui Terrero Peña**, autor de este trabajo y los tutores Dr. C. Enrique Torres Tamayo, Ing. Orlando Vega Arias declaramos la propiedad intelectual del mismo al servicio del Departamento de Ingeniería Mecánica y al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Dr. Antonio Núñez Jiménez, para que dispongan de su uso cuando estime conveniente.

Fidielqui Terrero Peña

Dr. C Enrique Torres Tamayo

Ing. Orlando Vega Árias

PENSAMIENTO

“El mérito no está en el éxito del acontecimiento, sino en el valor de acometer.”

José Martí

Apóstol de la República de Cuba

“El conocimiento es experiencia, todo lo demás es información.”

Albert Einstein

“Sin el enorme capital humano creado por la Revolución no podía ni siquiera soñarse con la gran revolución educacional que Cuba lleva a cabo en la actualidad, cuya trascendencia rebasará las fronteras de nuestro propio país.”

Fidel Castro Ruz.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a mi Dios por permitirme ser un profesional.

En especial a mis tutores: Dr. C. Enrique Torres Tamayo por su sabiduría, experiencia, por su dedicación hacia mí durante todo este tiempo, al Ing Orlando Vega Árias por su apoyo y asesoramiento en la industria.

A mis queridos padres Mirian Peña Mojena y Fidel Terrero Pileta, por comprenderme siempre, por dedicar toda su vida a mi servicio,

A mi novia Kaliana González Hernández por ayudarme y apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida.

De todo corazón a todas las personas que han aportado su granito de arena en la realización y culminación de este Trabajo de Diploma.

A Fidel, Raúl, y la Revolución por darme la oportunidad de convertirme en un profesional al servicio de la Patria.

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de Diploma a todas las personas que me quieren y me han ayudado de una forma u otra:

A mi madre: Mirian Peña Mojena, por el apoyo, el cariño, su dedicación, y por su sabiduría sin fin que ha puesto a mi servicio durante toda mi vida.

A mi padre: Fidel Terrero Pileta. Por su inmenso cariño, por apoyarme siempre, por su buen ejemplo y su amor desbordado hacia mi persona.

A mi novia: Kaliana González Hernández, por preocuparse siempre por mí, por estar a mi lado en los momentos que más la necesité, por ayudarme cada momento.

A mis hermanos: Neisy Terrero P, Maidalé Terrero S, Marjoris Terrero P, Douglas Terrero P, Leudis Terrero P, Noriz Garrido P, por brindarme todo su cariño y apoyo.

A mis primo(as): Idalmis Perdomo Terrero, Alexander Terrero Azaháres, Taimir Rodríguez por la ayuda prestada para que este trabajo se realizara y su apoyo incondicional.

A mis amigos(as): Tania Pérez, Alain Bonilla, Ramón Bonilla, Gladis Pavón, Anderson Leyva Tarafa, Dafnis Leyva Legrá, Gustavo Romero Mena, Maikel Olivero Montero por estar a mi lado en los momentos que más los necesité, aconsejarme y darme fuerzas para que yo pudiera cursar estos 5 años de la carrera.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental evaluar el sistema de limpieza de gases de la Unidad Básica de Producción Secaderos de la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara.

Por lo que se realizó un muestreo del mineral de entrada, salida y el recolectado en el sistema de limpieza de gases con el propósito de determinar su composición y granulometría. Se determinaron los posibles arrastres hacia los sistemas de limpieza de gases aplicando la Ley de Stockes. También, se analizaron desde el punto de vista aerodinámico las redes de distribución de los gases, y se comprobó la capacidad de transportación del polvo recolectado en los sistemas de limpieza de gases. Por último se muestra un estudio de la valoración económica y el impacto ambiental generado por la Planta.

Con la elaboración del presente trabajo se concluyó que: de los equipos de limpieza de gases existentes en la UBP Secaderos de la Empresa Comandante. Ernesto Ché Guevara solo los ventiladores, y los conductos pueden soportar un aumento de la productividad de la empresa hasta las 40000 toneladas al año, no siendo así para los transportadores de rastrillos КΠС-320 y КΠС-650, los ciclones, los electrofiltros y la chimenea.

ABSTRACT

This paper main aim is to assess Commander Ernesto Che Guevara nickel + cobalt producing plant's dryer plant gas cleaning system. A sampling was carried out for the inlet, outlet and collected ore in the gas cleaning system aimed at determining the ore composition and particle size. Possible draggings toward the gas cleaning system were determined by applying Stockes' Law. Also the gas distribution networks were analyzed from the aerodynamical point of view, and the collected dust conveying capacity was shown in the gas cleaning system. Lastly an economic evaluation research as well as the environmental impact generated by the plant is shown. This paper has enabled to conclude that: of the dryer plant gas cleaning equipment, just the fans and the ducts may assimilate a company's productiveness increase up to 40 t per year, excluding the rake conveyors КПС-320 y КПС-650, the cyclones, the electrofilters and the plant stack.

INTRODUCCIÓN.....	2
CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Introducción.....	5
1.2. Antecedente y estado actual de las teorías relacionadas con el proceso de limpieza de gases.....	5
1.3. Captadores de polvos en los procesos de limpieza de gases.....	12
1.3.1. Captadores de polvos por la acción de la fuerza de inercia.....	13
1.3.2. Captadores de polvo por acción del campo eléctrico.....	14
1.3.3. Captadores de polvo por acción de la fuerza centrífuga.....	17
1.4. Estado actual del proceso de limpieza de gases en la UBP Secadero.....	21
1.4.1. Descripción del flujo tecnológico de la UBP Secadero.....	22
1.4.2. Partes principales de secadero.....	22
1.4.3. Secado en tambores rotatorios (Secaderos).....	23
1.4.4. Eficiencia del secado.....	24
1.5. Conclusiones del capítulo.....	24
CAPÍTULO II. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE LIMPIEZA DE GASES EN LA UBP SECADEROS.....	25
2.1. Introducción.....	25
2.2. Determinación de la composición y granulometría del mineral de entrada y salida, y recolectado en los Sistemas de Limpieza de Gases.....	25
2.2.1. Cálculo del flujo total de los gases de combustión.....	27
2.2.2. Cálculo de la densidad total de los gases de combustión en condiciones normales.....	28
2.2.3. Cálculo de la densidad real de los gases a la salida del Secadero.....	28
2.3. Cálculo del diámetro de las partículas de polvo que son arrastrada hacia los Sistemas de Limpieza de Gases.....	29
2.3.1. Cámara de evacuación.....	30
2.4. Análisis hidrodinámico de las redes de distribución de los gases.....	31
2.5. Cálculo de la capacidad de los transportadores KTC-320 y KTC- 650.....	42
2.6. Conclusiones del capítulo.....	46
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADO E IMPACTO AMBIENTAL.....	47
3.1. Introducción.....	47
3.2. Datos que se utilizaron en el capítulo 2 para la realización de los cálculos.....	47
3.3. Valoración económica.....	49
3.4. Impacto ambiental.....	52
3.5. Conclusiones.....	55
CONCLUSIONES GENERALES.....	56
RECOMENDACIONES.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

La necesidad de proteger el medio ambiente implica la aplicación de procedimientos cada vez más eficaces, para el tratamiento de efluentes de todo tipo generados por las distintas actividades humanas.

Las Industrias Metalúrgicas de Metales no Ferrosos son unas de las mayores contaminantes del medio ambiente, ya que casi todas las etapas de los procesos de producción de metales van acompañadas de la formación de polvos que salen con los gases tecnológicos y de ventilación. Junto con estos gases salen en forma de impurezas los óxidos de azufre (anhídrido sulfúrico y sulfuroso), cloruro de hidrógeno, cloro, flúor, y algunos otros componentes de la materia prima.

Para disminuir la contaminación de la naturaleza y hacer más eficiente el proceso de producción aprovechando racionalmente los componentes valiosos que salen a la atmósfera desde las fábricas metalúrgicas de metales no ferrosos con los gases y junto a las impurezas, se hacen indispensables en las industrias la instalación de equipos encargado de la purificación y limpieza de gases.

En Cuba se le brinda gran importancia a los problemas relacionados con la protección de la naturaleza, al aprovechamiento racional de los recursos naturales, y en especial a los problemas de salud y duración de vida de la población; debido a la gran cantidad de gases y polvos nocivos que emanan las fábricas metalúrgicas de metales no ferrosos hacia la atmósfera.

En el municipio de Moa unos de los principales problemas medioambientales que afectan a la población es la gran cantidad de gases con polvo que son lanzados a la atmósfera por las empresas niquelíferas existentes en la localidad.

Una de las industrias que más afecta al medio ambiente y a la población en este sentido es la Empresa Comandante. "Ernesto Che Guevara" por la gran cantidad de gases que en ella se genera durante el proceso de extracción del níquel. Para reducir las grandes cantidades de gases con polvo lanzadas a la atmósfera, esta empresa cuenta con varios Sistemas de Limpieza de Gases (SLG) en cada una de sus plantas. En unas plantas más que en otras las cantidades de gases generadas varían en concentración,

cantidad y componentes, y en dependencia del proceso metalúrgico que en ellas se desarrolle.

Planteamiento del Problema

El incremento de la relación limonita/ serpentina (superior a 8) que llega al proceso de secado de mineral de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” provoca un aumento de la cantidad de polvos y gases generados en el secador que luego serán lanzados a la atmósfera, produce una mayor afectación a la salud de la población y de los trabajadores de dicha planta, como resultado disminuye la eficiencia de los sistemas de limpieza de gases y aumenta el consumo de energía.

Hipótesis

La relación de las principales variables involucradas en el proceso de limpieza de gases, diámetro de las partículas, velocidad de los gases, presión y concentración de la mezcla, permitirá obtener los parámetros adecuados de operación que garanticen menor concentración de polvo en los gases.

Objeto de estudio

El Sistema de Limpieza de Gases en la Unidad Básica de Producción Secadero.

Objetivo del Trabajo

Evaluar el Sistema de Limpieza de Gases de la Unidad Básica de Producción Secaderos de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara.

Campo de acción

El proceso de transporte neumático de partículas asociadas con el sistema de limpieza de gases.

Tareas a realizar

1. Establecer el estado del arte relacionado con los Sistemas de Limpieza de Gases.
2. Realizar la caracterización del mineral laterítico en la entrada del Sistema de Limpieza de Gases de la Unidad Básica de Producción Secaderos.

3. Describir el proceso de limpieza de gases de la Unidad Básica de Producción Secaderos y sus particularidades relacionadas con movimiento de las partículas en el sistema.
4. Establecer el procedimiento de cálculo que permita la evaluación del sistema y la interrelación de las variables que inciden en el arrastre de partículas.
5. Valoración económica e impacto ambiental de la propuesta efectuada

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1. Introducción

La recolección y aprovechamiento del polvo en las industrias en la cual exista emanación de gases ,acompañado de polvos, que perjudican la salud humana, es uno de los desafíos del mundo actual a la cual es necesario dar respuesta inmediata por la necesidad de proteger el medio ambiente, los recursos naturales y la salud de la población.

En el presente capítulo se abordan los elementos teóricos fundamentales de la captación de partículas y las particularidades del proceso de limpieza de gases en la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

El objetivo es establecer los fundamentos teóricos necesarios para la evaluación del proceso de limpieza de gases, a partir de la sistematización de los conocimientos científico-técnicos establecidos en los trabajos precedentes.

1.2. Antecedente y estado actual de las teorías relacionadas con el proceso de limpieza de gases

Una investigación científica de acuerdo con lo planteado por Aróstegui (1978), en cualquier área del conocimiento debe siempre estar sustentada por una investigación teórica y empírica, de ahí que sea necesario utilizar los métodos que caracterizan a cada una de ellas para desarrollar científicamente las mismas a partir de una clara caracterización del objeto, del planteamiento del problema, los objetivos, la hipótesis y las tareas.

Es de gran utilidad la revisión de los trabajos de Mesarovich (1996) que aborda la temática relacionada con la Teoría General de los Sistemas y la Metodología de las Investigaciones Sistémicas. Según Hurtado (1999); Guzmán (2001) estos autores conceptualizan con claridad los métodos sistémicos de análisis del conocimiento científico, permitiéndole al investigador su empleo para sustentar teóricamente la investigación. A pesar de que algunos términos y definiciones han evolucionado en el presente, su esencia se mantiene vigente.

Una vez definida la teoría de sistema, como base teórica de la investigación, fue necesaria la búsqueda de métodos que permitieran la identificación y el análisis de los diferentes aspectos (subsistemas) que tributan al proceso de transporte neumático en tuberías horizontales, verticales y codos como sistema integrado. Se basan en el principio físico que el aire bajo ciertas condiciones puede ser utilizado para transportar materiales pesados que crea una caída de presión entre el inicio y el final de la tubería (Neidigh, 2002).

Según Pacheco (1984), las teorías más divulgadas sobre el transporte neumático por tuberías horizontales, verticales y codos que aparecen en la literatura, establecen relaciones entre sus datos experimentales y cierto coeficiente que vincula las pérdidas por fricción totales del proceso de flujo que incluye ambas fases (sólida y gas) y las pérdidas por fricción debido al gas, que en esta investigación es el aire limpio. Interesante en este campo resulta el artículo de Weber (1991) donde hace un análisis de la influencia de la fricción del aire y la mezcla aire - sólido en el transporte neumático, se determinan las pérdidas de presión a partir de un coeficiente de mezcla que incluye todos los parámetros influyentes en el transporte neumático. Otros trabajos dirigidos en la misma dirección son los desarrollados por Arnold y Wipych (1991); Pan y Wipych (1992). En los artículos citados no se parte de un razonamiento teórico del comportamiento físico de los sistemas, por lo que limita su aplicación a las condiciones planteadas en los experimentos. Esto aumenta el error que se comete cuando se aplican los resultados en el transporte de otros materiales.

Existen diferentes estudios en la rama tecnológica que muestran la evolución de los sistemas de transporte neumático desde su surgimiento a mediados del siglo XIX (Fitzgerald, 1996). Los artículos desarrollados por Wypych y Arnold (1989); Arnold y Wipych (1991), plasman una descripción de los principales avances del transporte neumático en Australia hasta el momento en que se hicieron las investigaciones y los cambios tecnológicos introducidos en los sistemas de alimentación con vista a lograr mayor cantidad de material transportado con el menor consumo de aire posible. La automatización de estos sistemas permite la humanización del trabajo de los operarios y la reducción de las dimensiones de los mismos. Sus indagaciones se basan en la

parte descriptiva y no profundizan en los detalles de diseño, ni ofrecen métodos de cálculo que permitan entender las tecnologías examinadas.

Dinulescu y Eckert(1985). Presentan una solución analítica para la migración unidireccional de humedad bajo gradientes de contenido de humedad y temperatura asumiendo propiedades de transporte constante y obtuvieron relaciones para la temperatura y campos de humedad en forma adimensional.

Un estudio similar pero en otros países lo realizan Reed y Bradley (1991) en Inglaterra; Alberti (1991) en Italia; este último destaca además en su investigación la influencia de las propiedades del producto (densidad real y aparente, granulometría, factor de forma, contenido de humedad, entre otras) en el diseño de los sistemas de transporte neumático.

De los últimos trabajos revisados en el campo tecnológico es importante resaltar el de Dynamic Air (2002), donde se expone una explicación detallada de las aplicaciones y ventajas de los sistemas de transporte neumático en fase densa para manipular materiales sólidos de diferentes características ya sean abrasivos, frágiles o difíciles de manejar.

Sobre este tema se han desarrollado varios trabajos investigativos en pos de buscar mejoras técnicas en el sistema de transporte neumático de la Planta de Calcinación. Un ejemplo es el trabajo realizado por CEPRONIQUEL (1995) donde se determinan las velocidades del sistema en cada uno de los ductos de las baterías de ciclones B1-3, B1-4, B1-5 y se determinó que estaban fuera de los valores normativos.

Kallel y otros (1993), estudiaron el efecto del contenido de humedad inicial y coeficiente de transferencia de calor por convección en el secado de ladrillos; usaron ecuaciones de conservación para líquidos, aire y vapor de agua, similar a las utilizadas por Whitaker.

La modelación de la mezcla bifásica en fases fluida y densa es de interés no solo para los sistemas de transporte neumático, sino también para otras aplicaciones tales como: los procesos de fluidización y procesos hidráulicos. Massoudi et al (1999) presentan las ecuaciones que rigen el comportamiento de un flujo de mezcla de partículas en fase densa para flujos completamente desarrollados; el autor examina la influencia de las

colisiones ínter partículas, el coeficiente de fricción, la viscosidad y el desarrollo de flujo isotérmico de las mezclas bifásicas.

Un modelo para el análisis de las pérdidas de presión en el sistema de transporte es el desarrollado por Pan y Wypych (1997), donde estudian el comportamiento del transporte en fase densa de materiales de forma irregular a partir de la modelación teórica en tuberías horizontales y verticales, los validan con resultados experimentales en instalaciones previamente construidas. Una investigación similar para el transporte en fase fluida es la realizada por Lampinen (1991). En la misma línea Hettiaratchi y Woodhead (1998) hacen una comparación entre la caída de presión en tuberías horizontales y verticales donde establecen la correlación entre ambas, minimizan la cantidad de experimentos a efectuar en el examen de los diferentes sistemas. En todos los artículos citados los autores no muestran el comportamiento del transporte de los materiales en las dos fases a la vez y no efectúan una exposición del comportamiento del consumo energético que delimite la zona de operación de un sistema en particular.

No existe suficiente información sobre el transporte neumático del mineral laterítico en los materiales consultados. En el manual de operaciones de la planta de preparación del mineral de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara (1985) se encuentran algunos datos de los sistemas actuales, fundamentalmente del Sistema de Alimentación. Ellos emplean alimentadores de tornillo sinfín FULLER KINYON de fabricación Alemana y compresores centralizados que presentan disímiles problemas (Torres, 1999).

Miranda (1996) compara y conjuga métodos al determinar el contenido de humedad inicial en las distintas menas de los yacimientos lateríticos, para esto aplica el método de reflexión neutrónica. Torres (1999) encuentra propiedades como:

- Contenido de humedad
- Forma de las partículas
- Composición granulométrica

Este estudio se completa en la investigación desarrollada por el propio autor (Torres, 2002) donde se determinan las propiedades siguientes:

- Densidad de las partículas
- Densidad aparente
- Velocidad de flotación

Contenido de humedad

El contenido de humedad del material en los sistemas de transporte neumático se determina por el método de diferencia de pesada. Para ello se emplea el Laboratorio Central de la empresa niquelífera Comandante Ernesto Che Guevara.

Los materiales para los experimentos son los siguientes:

- Mineral laterítico
- Balanza analítica de precisión hasta la cuarta cifra decimal
- Desecadoras
- Estufa
- Pesafiltros con sus tapas
- Crisoles con sus tapas
- Beaker
- Pipeta
- Espátula
- Termómetro de bulbo húmedo y bulbo seco.

Mason et al (1998) desarrollan la simulación de los sistemas de transporte neumático con el fin de incrementar la flexibilidad de los métodos de diseño. Esta tarea es dividida en dos partes: la predicción del punto de operación del sistema y la influencia de los componentes individuales de la tubería en el flujo. También se debate el perfeccionamiento del algoritmo usado para predecir el punto de operación del sistema que responde a las principales inquietudes relacionadas con la eficiencia del transporte neumático.

El punto de operación de un sistema de transporte neumático puede ser especificado por tres parámetros fundamentales:

- La variación del flujo másico de sólido a través de la tubería
- La variación del flujo másico de gas usado para transportar los sólidos
- La caída de presión necesaria para manejar el flujo

El primer parámetro especifica el punto de rendimiento del sistema, mientras que los otros dos especifican el punto de operación del alimentador de aire (usualmente el componente más caro del sistema). Al usarlos se puede simular la característica de transporte la que representa el rango de posibles condiciones de operación alcanzables por un material a granel en un sistema particular.

Los sistemas de transporte neumático para su investigación se dividen en tres partes:

- Sistema de alimentación.
- Sistema de transporte.
- Sistema de recepción y separación de polvo.

Un modelo para el análisis de las pérdidas de presión en el sistema de transporte es el desarrollado por Pan y Wypych (1997), donde estudian el comportamiento del transporte en fase densa de materiales de forma irregular a partir de la modelación teórica en tuberías horizontales y verticales, los validan con resultados experimentales en instalaciones previamente construidas. Una investigación similar para el transporte en fase fluida es la realizada por Lampinen (1991). En la misma línea Hettiaratchi y Woodhead (1998) hacen una comparación entre la caída de presión en tuberías horizontales y verticales donde establecen la correlación entre ambas, minimizan la cantidad de experimentos a efectuar en el examen de los diferentes sistemas. En todos los artículos citados los autores no muestran el comportamiento del transporte de los materiales en las dos fases a la vez y no efectúan una exposición del comportamiento del consumo energético que delimite la zona de operación de un sistema en particular.

Los aspectos económicos de los sistemas de transporte neumático se examinan en la literatura, se destaca Hayes et al (1993), ellos dividen los costos en dos categorías

fundamentales: costo capital y costo operacional. El primero incluye los costos de diseño, conexión e instalación del sistema y el segundo los costos por conceptos energéticos, de mantenimiento, entre otros. Crawley y Bell (2002) en una búsqueda análoga circunscriben ejemplos de cálculo para sistemas en fases fluida y densa.

En los últimos años se han incrementado las investigaciones relacionadas con el transporte neumático de diversos materiales, la mayoría de los autores (Lampinen, 1991; Paul, 1999; Rodes, 2001; Farnish, 2002; Singer, 2002) distinguen dos fases fundamentales: la fluida o diluta y la densa; en esta última se hacen diferentes clasificaciones, las más completas son las efectuadas por Rodes (2001) que las divide en dos partes fundamentales (figura 1.1):

- Flujo en fase densa continua, donde el sólido ocupa la parte inferior de la tubería horizontal. El transporte en ésta, requiere de altas presiones del gas y es limitado a distancias menores de un kilómetro.
- Flujo en fase densa discontinua (se incluye el flujo en fase pistón), donde existen cavidades de aire entre la carga de material transportado a través de la tubería.

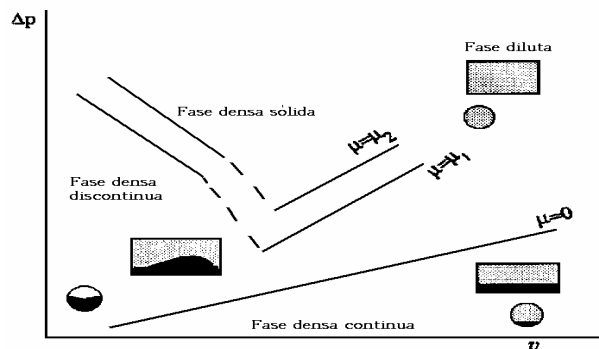


Figura 1.1. Distintas fases en el transporte neumático de materiales.

Fuente: M. Rodes, 2001

De los últimos trabajos revisados en el campo tecnológico es importante resaltar el de Dynamic Air (2002), donde se expone una explicación detallada de las aplicaciones y ventajas de los sistemas de transporte neumático en fase densa para manipular materiales sólidos de diferentes características ya sean abrasivos, frágiles o difíciles de manejar.

Otra investigación interesante es la de Darren (2000) donde se ofrece una introducción a los componentes fundamentales de los sistemas de transporte neumáticos en fases fluida y densa, se describen los beneficios y las limitaciones de varios componentes según el concepto de diseño del sistema; aunque el artículo no incorpora los detalles mínimos sobre cómo diseñar un sistema, ayuda a tomar decisiones generales sobre las opciones de un diseño adecuado.

De igual forma para componer las ecuaciones de un objeto en la industria metalúrgica, los que representan complejos sistemas dinámicos, es necesario desprestigiar una serie de factores secundarios y sí tener en cuenta los principales: de entrada, salida y perturbaciones que influyen en la dinámica del mismo; a la vez, la sencillez del modelo conformado debe contener las principales peculiaridades del proceso investigado (Guzmán, 2001).

Mason et al (1998) desarrollan la simulación de los sistemas de transporte neumático con el fin de incrementar la flexibilidad de los métodos de diseño. Esta tarea es dividida en dos partes: la predicción del punto de operación del sistema y la influencia de los componentes individuales de la tubería en el flujo. También se debate el perfeccionamiento del algoritmo usado para predecir el punto de operación del sistema que responde a las principales inquietudes relacionadas con la eficiencia del transporte neumático.

La modelación de la mezcla bifásica en fases fluida y densa es de interés no solo para los Sistemas de Transporte Neumático, sino también para otras aplicaciones tales como: los procesos de fluidización y procesos hidráulicos. Massoudi et al (1999) presentan las ecuaciones que rigen el comportamiento de un flujo de mezcla de partículas en fase densa para flujos completamente desarrollados; el autor examina la influencia de las colisiones ínter partículas, el coeficiente de fricción, la viscosidad y el desarrollo de flujo isotérmico de las mezclas bifásicas.

1.3. Captadores de polvos en los procesos de limpieza de gases

De los captadores de polvo más difundidos, los más importantes son los siguientes:

Captadores de polvos por acción de la fuerza de inercia**Captadores de polvos por acción del campo eléctrico****Captadores de polvos por acción de la fuerza centrífuga.****1.3.1. Captadores de polvos por la acción de la fuerza de inercia**

Consiste en el viraje brusco de la corriente de gases con polvo donde las partículas de polvo bajo la acción de la fuerza de inercia seguirán moviéndose en la misma dirección, en ciertas condiciones pueden ser separados de este flujo.

Una serie de construcciones de captadores de polvo se basa en la utilización de este fenómeno y se llaman **Sacos de polvo**, su principio de funcionamiento es el siguiente:

El gas con polvo entra desde abajo por el tubo central recto o de forma cónica ensanchada hacia abajo en el cuerpo del saco de polvo que es un cilindro con tolva cónica. Los gases purificados se evacúan, generalmente por una boquilla lateral o superior. Las precipitaciones de polvo tienen lugar durante un brusco viraje de la corriente de gas a 180° al entrar al tubo central en el cuerpo del saco, y luego al subir los gases a baja velocidad hasta la boquilla de salida, la velocidad del gas en el tubo central y en el cuerpo del saco se escogen de acuerdo con el tipo de polvo y el grado necesario de captación.

En la figura 1.2. Se muestra un ejemplo de un captador de polvo por acción de la fuerza de inercia del tipo sacos de polvo.

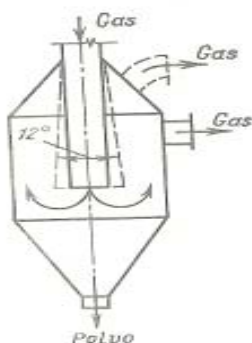


Figura 1.2. Captador de polvo por inercia tipo saco de polvo

Fuente: Gordón G.M, 1981

A continuación se nombran los más difundidos:

1. Sacos de polvo.
2. Captadores de polvo reflectivos de inercia.
3. Captadores de polvo de celosías.
4. Captadores de polvo por vía húmeda.
5. Lavadoras de gas.
6. Lavadoras de gas con empaques.
7. Lavadoras de gas de otras construcciones.
8. Recoge gotas.
9. Ciclones por vía húmeda.
10. Captadores de polvo rápidos (turbulentos).
11. Captadores de polvo de barbotaje y de espuma.
12. Captadores de polvo por acción de la fuerza centrífuga.
13. Ciclones ordinarios.
14. Ciclones tipo batería

1.3.2. Captadores de polvo por acción del campo eléctrico

Los captadores de polvo por la acción del campo eléctrico más conocido son los llamados **electrofiltros**, su principio de funcionamiento es el siguiente:

Son equipos encargados de captar el polvo de los gases que se derivan del proceso tecnológico, por acción del campo eléctrico. El proceso de separación del polvo se produce cargando negativamente las partículas en suspensión en el fluido gaseoso, que son atraídas por un electrodo positivo receptor. Es decir, las partículas de polvo contenidas en el gas se cargan para luego ser separadas del flujo de gas bajo la acción del campo eléctrico.

El precipitador electrostático o electrofiltros también es un colector de polvo pero su principio de funcionamiento se diferencia radicalmente respecto de un filtro de mangas,

porque captura las partículas creando un campo eléctrico de gran intensidad en el interior de su cuerpo, mediante placas que ionizan las partículas y las atraen. Una vez adherido el polvo a las placas, estas son golpeadas y el polvo es recolectado en tolvas que se encuentran en la parte inferior de estos equipos.

En la figura 1.3. se muestra un ejemplo de un electrofiltro precipitador de placas empleado en las industrias del mundo que realizan la depuración de partículas.

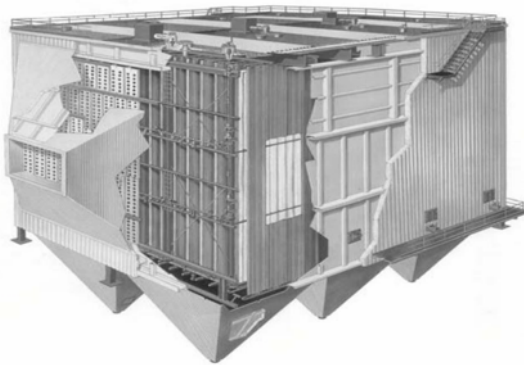


Figura 1.3. Electrofiltro precipitador de placas

Fuente: Serrano L (2008).

Clasificación de los electrofiltros

1. Según la situación de la zona de carga y de precipitación los electrofiltros se clasifican en: Unizonal (Ia) o Bizonal (Ib).
2. Según la dirección de marcha de los gases a purificar en: Verticales (IIa) u Horizontales (IIb).
3. Según la forma de los electrodos de precipitación en: Tubular, Hexagonal (IIIa) o Laminar (IIIb).
4. Según el número de campos eléctricos situados en serie: de un campo (IVa) y de varios campos (IVb).
5. Según el número de secciones en paralelo: de una sección (Va) y de varias secciones (Vb).

6. Según el estado del polvo a captar:

Para los polvos captados en estado seco (VI a), cuando la purificación de los gases se realiza a la temperatura superior al punto de rocío del gas.

Para los polvos captados en estado húmedo (VI a), cuando los gases están húmedos como resultado de la condensación de vapores de agua u otros componentes gaseosos y se quita de los electrodos por lavado.

Eficacia de los electrofiltros.

La veracidad real del funcionamiento de los electrofiltros depende de muchos factores, dentro de los que podemos citar:

1. Propiedades del gas a purificar (composición química, temperatura, humedad y presión).
2. Propiedades del polvo a captar (su composición química, propiedades eléctricas, dispersidad) y el espesor de la capa de polvo en los electrodos de precipitación.
3. Concentración del polvo en el gas (contenido de polvo inicial).
4. Contaminación de los electrodos de efecto corona y de precipitación con polvo precipitado.
5. Parámetros eléctricos del electrofiltro (tensión aplicada, intensidad del campo, intensidad de la corriente).
6. Velocidad del gas y uniformidad de su distribución en el campo eléctrico.

Tipos de electrodos de los electrofiltros

- Electrodo de precipitación.
- Electrodo de efecto corona.

Efecto corona en los electrofiltros

El efecto corona en los electrofiltros surge con una determinada intensidad del campo, que depende de la forma y posición de los electrodos, de la composición de los gases, de su presión y de su temperatura.

El aumento de la presión del gas en el electrofiltro permite trabajar con la mayor intensidad del campo, pero el aumento de la temperatura del gas produce un efecto contrario. La corona se forma a bajas tensiones y facilita la formación de descargas por chispas.

La intensidad de encendido de la corona depende de la correlación entre los diámetros de los electrodos de efecto corona y los de precipitación. Según los datos disponibles, el efecto corona es posible, si la relación es de más de 10. Con un valor menor tendrá lugar una descarga por chispas, sin etapas del efecto corona. Este efecto corona es indispensable para lograr la captación y precipitación del polvo en los electrofiltros.

1.3.3. Captadores de polvo por acción de la fuerza centrífuga.

Equipos cuyo funcionamiento está fundado en el aprovechamiento de la fuerza centrífuga. En el caso de un viraje en el movimiento de la corriente de gas o en su movimiento curvilíneo (rotación), además de la fuerza de gravedad y del flujo de gas, en la partícula acciona la inercia. Bajo su acción las partículas tienden a mantener el movimiento rectilíneo, o sea, se votan del flujo. Este fenómeno se usa en ciclones.

Por lo ya antes mencionado se impone que los captadores de polvo por la acción de la fuerza centrífuga más conocido son los llamados ciclón, su principio de funcionamiento es el siguiente:

El flujo de gas con polvo se suministra a la parte superior del ciclón que es, en muchos casos, un cilindro cónico (de diámetro 2) ver Fig1.4. en la parte inferior. La tubuladura de entrada al ciclón, en general, de forma rectangular, se sitúa sin falta según la tangente a la circunferencia de la parte cilíndrica. Los gases salen del aparato por un tubo redondo (de diámetro 1) ver Fig1.4., situado a lo largo del eje del ciclón.

Al entrar en el ciclón los gases fluyen de arriba hacia abajo, girando, al principio, en el espacio anular entre la superficie cilíndrica exterior del ciclón y el tubo central de salida y luego en el cuerpo del ciclón, formando un torbellino rotatorio exterior.

Por lo tanto se desarrollan las fuerzas centrífugas gracias a las cuales las partículas de polvo suspendidas en la corriente de gas rotatoria, se empujan hacia las paredes del cuerpo del ciclón tanto de su parte cilíndrica, como cónica. Al acercarse al cono, el flujo

de gas se retorna hacia el tubo de salida, formando un torbellino rotatorio interior.

Las partículas de polvo que alcanzan las paredes del ciclón se mueven junto con los gases hacia abajo y de ahí se evacuan del ciclón por una tubuladura de salida del polvo. Las partículas de polvo tienden a desplazarse hacia la pared exterior del separador, desde la cual son conducidas hacia un receptor (tolva).

El movimiento de las partículas de polvo hacia la tubuladura se debe no solamente a la fuerza de gravedad, sino en primer lugar, a que la corriente de gas no sólo gira cerca de las paredes de las partes cilíndrica y cónica, sino se mueve a lo largo del eje del ciclón hacia el vértice del cono.

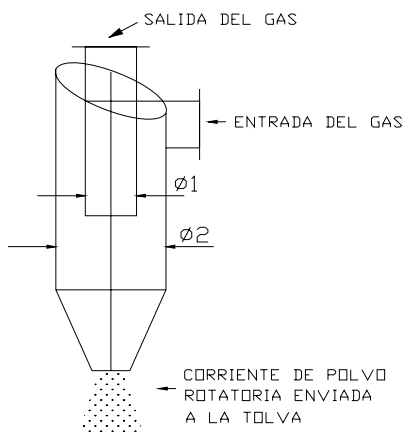


Figura1.4. Principales corrientes en un ciclón.

Fuente: Gordón G.M, 1981

Campos de aplicación de los ciclones.

Su uso es en todos los tipos de industria, ya sea como separador de polvo o en la recuperación de productos de un arroyo aéreo.

Otros de sus empleos se pueden ver tanto para gases cargados de polvo como de niebla, es decir, para pequeñas partículas líquidas. Se han operado a temperaturas tan elevadas como 1000 °C y presiones tan altas como 50700 KPa (500 atm).

En casos especiales, en los que el polvo está altamente floculado o se tienen elevadas concentraciones de polvo (más de 230 g/m³), los ciclones eliminan el polvo con partículas de diámetros pequeños.

En ciertos casos se han obtenido eficiencias tan altas como 98 % en polvos cuyos diámetros de partícula varían entre 0.1 y 2.0 mm por el efecto predominante de la floculación.

Clasificación de los distintos tipos de ciclones.

Los ciclones se pueden clasificar atendiendo a la manera en que se produce la carga y descarga del equipo, y en función de su eficacia.

Según a la carga y descarga de los ciclones se distinguen los siguientes tipos:

- a) Ciclones de entrada tangencial y descarga axial.
 - b) Ciclones de entrada tangencial y descarga periférica.
 - c) Ciclones de entrada y descarga axiales.
 - d) Ciclones de entrada axial y descarga periférica.
- Los ciclones de entrada tangencial y descarga axial 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.
 - En los ciclones con 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.
 - En los ciclones con entrada y descarga axial la diferencia fundamental es que sus diámetros son de menores dimensiones (entre 25 y 305 mm), gracias a esta característica su eficiencia se hace mayor aunque su capacidad sea menor.
 - Los ciclones de 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.

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

2. Su limitación principal es que, a menos que se utilicen unidades muy pequeñas, la eficiencia de recolección es muy baja para partículas menores de 5 mm y, en especial, para partículas menores de 2 o 3 mm.

Según este criterio se consideran los siguientes tipos de ciclones:

1-Muy eficientes (98 – 99) %

2-Moderadamente eficientes (70- 80) %

3-De baja eficiencia (50 %)

Construcciones de los ciclones.

En la metalurgia de metales no ferrosos los ciclones más difundidos son los NIOGAZ, LIOT y SIOT. Los ciclones NIOGAZ tienen una característica peculiar que los diferencia de los otros tipos de ciclones, y es que poseen una tubuladura inclinada (en vez de la situada a 90 grados con respecto al eje del ciclón).

Existen tres tipos de ciclones NIOGAZ que se diferencian uno del otro por el ángulo de inclinación de la tubuladura de entrada.

1. El tipo TsN-15 (normal) y el TsN-15u (acortado) con ángulo de inclinación de 15⁰.
2. El tipo TsN-24 de alta productividad (con el menor coeficiente de resistencia hidráulica ζ para la partícula de polvo grueso) con ángulo de inclinación de 24⁰.
3. El tipo TsN-11 eficiencia elevada (con el mayor coeficiente de resistencia hidráulica) y ángulo de inclinación 11⁰.

Para los ciclones NIOGAZ TsN-11, TsN-15, TsN-15u se recomiendan los siguientes diámetros interiores D (mm): 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000. Para los TsN-24 se agregan 2400 y 3000.

El tipo básico de ciclones NIOGAZ es el TsN-15, con este tipo de ciclones se garantiza el mayor grado de captación de polvo con el menor coeficiente de resistencia hidráulica. Los ciclones NIOGAZ TsN-24 se recomiendan para bajas exigencias en cuanto al grado de purificación (para purificación preliminar antes de los electrofiltros).

Los ciclones NIOGAZ del tipo TsN-11 son los existentes en la Planta de Preparación de Mineral, estos tienen un diámetro interior $D = 1800$ mm.

1.4. Estado actual del proceso de limpieza de gases en la UBP Secadero.

El polvo que es barrido por los gases del interior de cada secadero es introducido en un sistema de colección de polvo formado por dos baterías de 4 ciclones cada una 215-CN-101- 107 A,B,C,D, de eficiencia 73 % y diámetro 1 800 mm y por un electrofiltro de 4 polos 215 EF 101 - 107 que trabaja con una tensión de 75 000 - 80 000 volts y eficiencia 99,6 %.

Esto significa que el 36 % del polvo arrastrado por los ventiladores de tiro de cada secadero, el 73 % se quedará colectado con las tolvas de los ciclones y el 27 % restante llegará a los electrofiltros, previo paso por una zona llamada (embudos muertos) donde también se colectará cierta cantidad a merced de la caída brusca de presión.

Estos embudos muertos y el electrofiltro poseen tolvas de almacenamiento de mineral, el que es descargado en transportadores de paletas hundidas 215-TRP-101... 106 Y 215 TRP-107...114 de capacidad 15 t/h (4.166 kg/s) cada uno de los que llevará su carga a otros transportadores similares, pero mayores 215 TRP-117 y 118, 215 TRP-115 A y B, 215 TRP-116 A y B de capacidad 50 ton/h (13.888 kg/s).

Estos últimos descargarán su contenido en las tolvas de mineral 215-TV-108 A y B los que alimentarán a las bombas de transporte neumático 215- BO-13-16, que son las encargadas de conducir este polvo hacia las tolvas de producto final (215-TV-205 A y B) de los molinos. La capacidad de estas bombas es 120 ton/h (33.333 kg/s) cada una.

Los gases una vez limpios de polvo son enviados a la atmósfera debido a la succión y tiro forzado que crea un ventilador (215-VE-108-114) colocado al final de cada filtro eléctrico atravesando una chimenea (215-CH-101) de 120 m de altura. La capacidad del ventilador es 279 000 - 249 000 m³/h. La concentración de polvo que debe salir a la atmósfera debe ser de 200 mg/m³. (Ver figura 1.5).

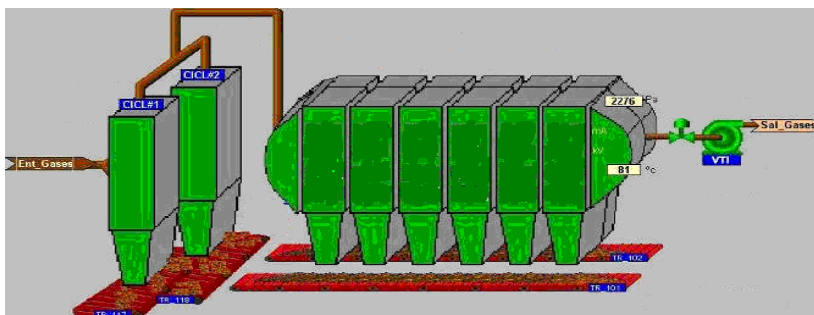


Figura 1.5. Secuencia de ubicación del SLG secadero

Fuente: Méndez E, Toro F (2003).

1.4.1. Descripción del flujo tecnológico de la UBP Secadero.

En la UBP Secadero es donde inicia el proceso productivo de la fábrica según la tecnología carbonato-amoniaco. La misma la conforman las siguientes secciones: Patio de homogenización, Secaderos y Molinos.

El objetivo de esta planta es homogeneizar, secar y moler el mineral que se enviará a los Silos, para su posterior proceso en la Planta de Hornos de Reducción.

El mineral procedente de la Mina se transporta hacia la UBP Secadero a través de las grúas Gantry o directamente por los transportadores de enlace N₀ (14 o 15).

El mineral generalmente llega a la planta con 36 % de humedad es secado en los tambores cilíndricos rotatorios (secaderos) hasta valores de 4,5-5,5 % de humedad, luego es llevado por transportadores de bandas hacia la sección de molienda donde es sometido a un proceso de molienda en los molinos cilíndricos de bolas (molienda seca) hasta valores de granulometría de + 0,0149 mm (5 %), - 0,074 mm (85-87 %) – 0,044 mm, (75 %), - 0,149 mm + 0,074 mm (el resto).

1.4.2. Partes principales de secadero.

Para el secado del mineral, en esta planta se emplean los hornos o tambores rotatorios, estos son equipos definidos en el mundo para estos procesos. Los tambores rotatorios o secaderos son cilindros alargados formados por una cámara de combustión (donde se producen los gases calientes que van a secar el mineral), y un cilindro (donde el mineral recibirá el proceso de secado).

El tambor secador (secadero) posee un sistema motriz, acoplado al cuerpo de este, que le permite rotar alrededor de su eje. El mismo se apoya exteriormente en dos llantas que posee sobre dos pares de rodillo. Internamente el secadero está formado, cerca de la cámara de combustión, por unas guías o deflectores soldados al cuerpo del tambor que son los que dirigen el mineral hacia el interior de la parte cilíndrica.

En esta parte cilíndrica existen otros elementos llamados levantadores de mineral, estos están soldados al cuerpo del tambor y son los encargados de permitir la transferencia de calor entre el gas caliente y el mineral, y con ello el proceso de secado.

Estos levantadores dividen al tambor en 6 partes, lo que favorece el proceso de secado por:

- a) Permite que la carga alimentada al secadero sea repartida uniformemente en el interior del mismo.
- b) Evita sobrecargar un levantador más que otros, provocando la formación de cortinas de mineral uniformes durante la caída del mismo, debido a la rotación del tambor.
- c) Posibilita un mayor contacto entre los gases calientes - mineral y con ello una mayor evaporación de la humedad que trae el mineral.
- d) Permite que el motor trabaje más establemente y se requiera de menor potencia para mover el secadero, debido a la uniformidad de la carga.

1.4.3. Secado en tambores rotatorios (Secaderos).

El mineral al entrar al secadero tendrá una humedad de 36 % aproximadamente y saldrá del mismo con 4.5 %. Para lograr esto cada secadero posee una cámara de combustión dotada de un quemador de petróleo, a la cual se le suministra aire de combustión, aire de pulverización, aire secundario o gases procedentes de la Planta de Hornos.

Los gases quemados dentro de la cámara de combustión alcanzarán una temperatura de 1500 °C y bajarán hasta 800-850 °C al entrar en contacto con el aire en exceso que se suministra y que sirve para aumentar el volumen de gases necesarios para secar el mineral. Los gases entran al tambor secador con esta última temperatura (800-850 °C) y salen del mismo a una temperatura de 80-100 °C.

La entrada de los gases al tambor secador se realiza en dirección a corriente con el mineral alimentado, de forma que el contacto entre los gases calientes y el mineral permita que este último se vaya secando para obtener al final del secadero un producto con las características adecuadas.

Estos gases calientes pueden atravesar el secadero debido a la succión que crea un ventilador de tiro centrífugo de doble entrada (BM-20), situado a la salida del electrofiltro que posee cada secadero individualmente.

Además, estos gases son capaces de arrastrar con ellos el 28 % del polvo que entra con el mineral o que se forma durante el proceso de secado, y que por lo general posee una granulometría de $-0,074$ mm, el cual será introducido al sistema de colección.

1.4.4. Eficiencia del secado.

La eficiencia del proceso de secado depende de los siguientes factores: Características del mineral alimentado, tiempo de retención del mineral, velocidad del gas, temperatura del aire o gas, longitud del secado, pendiente del secadero, capacidad de los levantadores del secadero, velocidad de rotación del secado, número de levantadores, y otros factores.

1.5 Conclusiones del capítulo.

- En las literaturas científicas consultadas existe suficiente información para la evaluación del proceso de limpieza de gases. Sin embargo, en el caso del proceso de captación de polvos es necesario considerar las características del mineral y sus particularidades dentro del sistema.
- En el análisis del comportamiento del Sistema de Limpieza de Gases en la UBP Secaderos de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” se necesitan mediciones de los parámetros fundamentales que intervienen en el proceso. La selección de los parámetros de trabajo y la pérdida de eficiencia está influenciada por el conocimiento de las principales variables involucradas en el transporte de partículas en flujos de gases.

CAPÍTULO II. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE LIMPIEZA DE GASES EN LA UBP SECADEROS.

2.1. Introducción.

El proceso de limpieza de gases depende de diversos parámetros los cuales deben ser considerados en el procedimiento de cálculo. El conocimiento del proceso y el desarrollo de expresiones matemáticas que representen el fenómeno físico permiten la interpretación de las múltiples situaciones que se presentan durante su análisis.

El objetivo de este capítulo es establecer el procedimiento de cálculo que incide en la eficiencia y parámetros de trabajo del Sistema de Limpieza de Gases en la UBP Secaderos de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

2.2. Determinación de la composición y granulometría del mineral de entrada y salida, y recolectado en los Sistemas de Limpieza de Gases.

Para el muestreo del mineral de entrada, salida, y el recolectado en los Sistemas de Limpieza de Gases se realizaron 3 muestras fundamentales, con los siguientes juegos de tamices (mallas de 100, 170, 200, +325 y -325).

El tamizado se realizó por vía húmeda, también se hizo con el equipo de análisis de partículas por rayos láser que dio los mismos resultados.

Muestra 1 de 100 gramos (a la salida de los secaderos).

Muestra 2 de 100 gramos (a la salida de los ciclones).

Muestra 3 de 100 gramos (a la salida de los electrofiltros).

De la masa total analizada (300 gramos) fueron procesados 295.263 gramos de mineral por pérdida de un 0.808 % de mineral en manipulación (tabla 2.1). Los 295.263 gramos representan un 99,673 % de la masa total analizada. De estos se obtiene en cada malla lo siguiente:

Tabla: 2.1. Representación de los tamices utilizados en el experimento

Mallas	100	170	200	325	-325	Total
MT (gr)	39,641	14,582	2,663	3,282	239,024	295.263
MT (%)	13,160	4,696	1,181	2,015	78,685	99,673

La masa total que se arrastra hacia los electrofiltros y ciclones corresponde a 200 gramos, y en cada malla se obtienen los resultados siguientes:

Tabla 2.2. Representación de la masa total arrastrada hacia los electrofiltros y ciclones

Mallas	100	170	200	325	-325	Total
MTarr (gr)	3.941	6.764	2.456	4.281	182.210	199.653
MTarr (%)	11.325	50.244	56.733	66.335	77.138	52.355

La masa total arrastrada (199,192 gr) hacia los electrofiltros y ciclones $MTarr$ (%) es:

$MTarr = 52,355 \%$ de la masa total procesada. Cálculo de la densidad real de los gases a la salida del Secadero

Cálculo del flujo másico total de polvo arrastrado hacia los SLG $Q_{tparr} (kg / h)$

$$Q_{mtparr} = \frac{P \cdot M_{Tarr}}{100}$$

$$Q_{mtparr} = 52355 kg / h \quad \dots \dots \dots \quad 2.1$$

Cálculo del flujo volumétrico total de polvo arrastrado hacia los SLG

$$Q_{vtparr} (m^3 / h)$$

$$Q_{vtparr} = \frac{Q_{tparr}}{\rho_{polvo}}$$

$$Q_{vtparr} = 61,594 m^3 / h \quad \dots \dots \dots \quad 2.2$$

Cálculo del % de polvo arrastrado hacia los SLG $X_{parr}(\%)$

$$X_{parr} = \frac{Q_{vtparr} \cdot 100}{Q_{tgss}}$$

$$X_{parr} = 0,0234 \% \quad \dots \dots \dots \quad 2.3$$

Cálculo de la fracción molar del polvo arrastrado hacia los SLG \bar{X}_{parr}

$$\bar{X}_{parr} = \frac{X_{parr}}{100} \quad 2.4$$

$$\bar{X}_{parr} = 0,000234$$

Cálculo de la fracción molar de los gases \bar{X}_{gases}

$$\bar{X}_{gases} = \frac{100 - X_{parr}}{100} \quad 2.5$$

$$\bar{X}_{gases} = 0,99977$$

Tabla 2.3. Densidad de los gases de combustión en condiciones normales, ρ^0 (kg/m³)

$\rho^0 CO_2$	$\rho^0 SO_2$	$\rho^0 N_2$	$\rho^0 O_2$	$\rho^0 H_2$	$\rho^0 H_2O$	$\rho^0 CO$
1,963	2,926	1,25	1,429	0,0899	0,00484	1,25

Tabla 2.4. Flujo de los gases de combustión en condiciones normales (m³/h)

Q_{CO_2}	Q_{SO_2}	Q_{N_2}	Q_{O_2}	Q_{H_2}	Q_{H_2O}	Q_{CO}
10490	634,082	73240	12560	0	90970	0

Cálculo del flujo total de los gases de combustión

$$Q_{tgc} = Q_{CO_2} + Q_{SO_2} + Q_{N_2} + Q_{O_2} + Q_{H_2} + Q_{H_2O} + Q_{CO} \quad 2.6$$

$$Q_{tgc} = 187894,082 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Cálculo del % de cada elemento de la combustión

$$\% CO_2 = \frac{Q_{CO_2} \cdot 100}{Q_{tgc}} \quad 2.7$$

$$\% CO_2 = 5,58293$$

2.3. Cálculo del diámetro de las partículas de polvo que son arrastrada hacia los Sistemas de Limpieza de Gases

Cálculo de la velocidad de las partículas en el interior del Secadero $w_p(m/s)$

Diámetro del secadero $d_{sec} = 4,5m$

Longitud del secadero $L = 48m$

Área del secadero $A_{sec}(m^2)$

$$A_{sec} = \frac{\pi \cdot d_{sec}^2}{4} \quad \dots \quad 2.12$$

$$A_{sec} = 15,904m^2$$

$$w_p = \frac{Q_{tgs}}{A_{sec}} \quad \dots \quad 2.13$$

$$w_p = 4,597m/s$$

Cálculo del diámetro de las partículas en el interior del Secadero según la Ley de Stokes.

El coeficiente de viscosidad cinemática de los gases $\nu(m^2/s)$ a una temperatura de los gases de salida del Secadero de $T_{gss} = 85^{\circ}C$ es igual a $\nu = 20,139 \cdot 10^{-6} m^2/s$

Coficiente dinámico de viscosidad $\mu = \nu \cdot \rho_{rgss}$

Aceleración de la gravedad $g = 9,81m/s^2$

$$dp = \sqrt{\frac{18 \cdot w_p \cdot \nu \cdot \rho_{rgss}}{g \cdot \rho_{polvo}}} \quad \dots \quad 2.14$$

$$dp = 0,000382m$$

$$dp = 0,382mm$$

$$dp = 382\mu m$$

Cálculo del diámetro de las partículas que se precipitan en el interior de la Cámara de Evacuación según la Ley de Stokes $dp_{ce}(\mu m)$

Ancho de la cámara de evacuación $a = 3,66m$

Largo de la cámara de evacuación $b = 5,924m$

Altura de la cámara de evacuación $H = 9,282m$

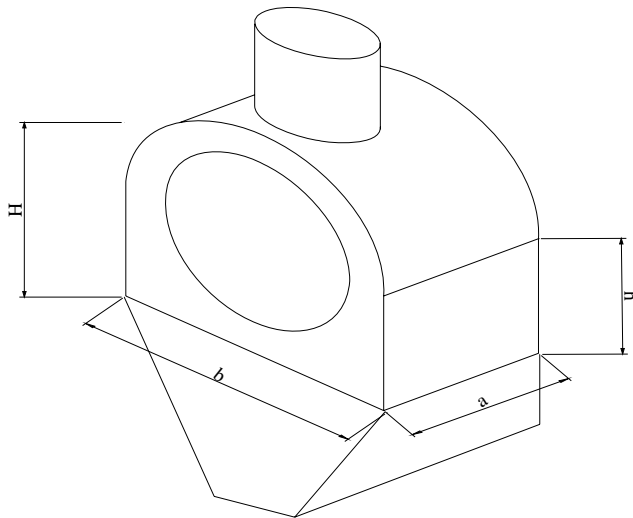
Distancia desde el fondo de la cámara de evacuación hasta el punto en que entran los gases a la cámara de evacuación $h = 6,32m$

Cálculo del área de la cámara de evacuación $A_{ce}(m^2)$

$$A_{ce} = a \cdot b$$

$$A_{ce} = 21,682m^2 \quad \dots \dots \dots \quad 2.15$$

2.3.1. Cámara de evacuación



Diámetro de las partículas que precipitan en la cámara de evacuación, $dp_{ce}(\mu m)$

$$dp_{ce} = \sqrt{\frac{18 \cdot v \cdot \rho_{rgss} \cdot Q_{tgs}}{3600 \cdot A_{ce} \cdot \rho_{polvo} \cdot g}} \cdot \frac{h}{H}$$

$$dp_{ce} = 0,000270m \quad \dots \dots \dots \quad 2.16$$

$$dp_{ce} = 0,270mm$$

$$dp_{ce} = 270\mu m$$

Cálculo de la velocidad de precipitación de las partículas en la cámara de evacuación, $V_c(m/s)$

Tabla 2.7. Diámetro nominal y cantidad de accesorios en cada tramo de la línea # 1

Tramos	D (m)	C-90	C-60	C-45	R, (Reducido)	E, (Expansión)	V, (válvulas)	Tr, (tramo de ramal)
1	2,02	0	1	0	2	0	0	1
2	2,196	2	0	0	0	0	0	0
3	1,6	0	0	1	0	0	0	0
4	1,729	0	0	0	0	0	0	0
5	2,22	0	0	3	0	1	1	0
6	3,22	0	0	0	0	1	0	1
7	3,82	0	0	0	0	1	0	1
8	4,254	0	0	0	0	1	0	0
Total	-	2	1	4	2	4	1	3

Tabla 2.8. Cantidad de coeficientes de entrada (Coef, e), y de salida (Coef, s)

Tramos	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
C, e	0	1	1	1	0	0	0	0	3
C, s	1	1	1	0	0	0	0	1	4

El valor medio de rugosidad para los tubos de acero es igual a $e = 0,0002m$

Cálculo de la velocidad de los gases para cada tramo de tubería y para los ciclones,

$$V = \frac{Q}{A} \tag{2.21}$$

Si $\theta < 45^\circ$
$$K_{10} = 2,6 \cdot \text{sen} \frac{\theta}{2} \cdot \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$$

Si $45^\circ < \theta < 180^\circ$
$$K_{10} = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \quad \dots \dots \dots \quad 2.24$$

Para los ensanchamientos (de cuadrado a cuadrado) se determina el $deq(m)$

Tabla 2.11. Cálculo de los coeficientes de pérdida de cada accesorio, para cada tramo

Coeficientes de pérdida (K) en accesorios, para cada tramo de la línea # 1									
Tra	C-90	C-60	C-45	Rreducido	E,expansión	V,válvulas	Tr,tramo rama	C, ecoef entrada	C, scoef salida
1	0	0,567	0	0,210	0	0	1	0	1
2	1	0	0	0	0	0	0	0,78	1
3	0	0	0,238	0	0	0	0	0,78	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0,78	0
5	0	0	0,938	0	0,023	0,25	0	0	0
6	0	0	0	0	0,174	0	0,28	0	0
7	0	0	0	0	0,032	0	0,533	0	0
8	0	0	0	0	0,007	0	0	0	1
Total	1	0,567	1,176	0,210	0,236	0,25	0,813	2,34	4

Cálculo de las pérdidas en los electrofiltros $Helec(mmH_2O)$ estas pérdidas para los cálculos se tomaron constantes $Helec = 26mmH_2O$.

Cálculo de las pérdidas en los ciclones $Hcicl(mmH_2O)$

$$Hcicl = \frac{\zeta \cdot Vc^2 \rho r g s s}{2 \cdot g} \quad \dots \dots \dots \quad 2.25$$

Estas pérdidas se calcularon en función del gasto $Qtgss(m^3/s)$, del coeficiente de resistencia hidráulica ζ , y del diámetro del ciclón $d_{cicl}(m)$. Para los ciclones tipo TsN-11 $\zeta = 250$

Tabla 2.12. Cálculo de las longitudes equivalentes en accesorios, la total en cada tramo y la total referida al tramo 3 de diámetro 1,6 m desde el tramo 1 al 5.

Tramos	$Lacc(m)$	$LT(m)$	$LTr(m)$
1	467,445	492,985	153,701
2	513,115	515,560	105,753
3	248,363	250,823	250,823
4	107,913	108,913	73,830
5	218,643	240,306	46,730
Total	-	-	630,837

Tabla 2.12.1. Cálculo de las longitudes equivalentes en accesorios, la total en cada tramo y la total referida al tramo 6 de diámetro 3,22 m desde el tramo 6 al 8.

Tramos	$Lacc(m)$	$LT(m)$	$LTr(m)$
6	127,005	136,515	136,515
7	196,319	196,319	83,546
8	389,479	392,479	97,490
Total	-	-	317,551

Determinación de la ecuación de la curva del Ventilador para los diferentes ángulos de abertura del dámper.

El ventilador existente en la planta es un ventilador centrífugo de doble entrada modelo BM-20. Para determinar la curva del ventilador se tomaron 3 puntos de cada ángulo de abertura del dámper y 3 valores de altura según las curvas que da el fabricante, para

$n = 745rpm$

La ecuación de la curva del ventilador queda de la siguiente forma, $H = AQ^2 + BQ + C$
 Luego se determinaron los coeficientes (A, B, y C) para cada curva de abertura del
 dámper por un sistema de ecuaciones con matrices, obteniendo los siguientes valores
 (tabla 2.12.2).

Tabla 2.12.2. Resultados de los coeficientes (A, B, y C) para cada curva de abertura del dámper por un sistema de ecuaciones con matrices.

Para 100 % de abertura del dámper (0°)		
A	B	C
$-1,430 \cdot 10^{-9}$	0,00045	445
Para 80 % de abertura del dámper (20°)		
$-1,524 \cdot 10^{-9}$	0,00044	445
Para 70 % de abertura del dámper (30°)		
$-1,714 \cdot 10^{-9}$	0,00044	445
Para 60 % de abertura del dámper (40°)		
$-2,044 \cdot 10^{-9}$	0,00047	445
Para 50 % de abertura del dámper (50°)		
$-2,648 \cdot 10^{-9}$	0,00052	440
Para 40 % de abertura del dámper (60°)		
$-4,310 \cdot 10^{-9}$	0,00069	438
Para 30 % de abertura del dámper (70°)		
$-4,800 \cdot 10^{-9}$	0,00044	425
Para 20 % de abertura del dámper (80°)		
$-2,427 \cdot 10^{-8}$	0,00233	375

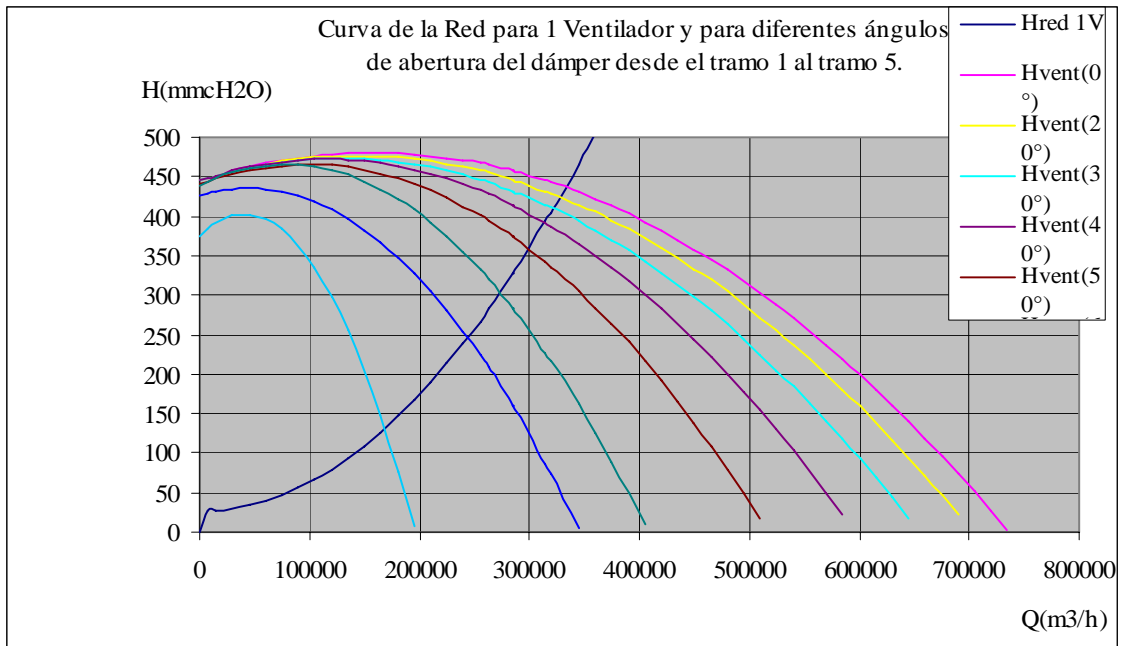


Figura: 2.1. Curvas de la red para 1 ventilador y diferentes áreas de abertura del dámper desde el tramo 1 al 5

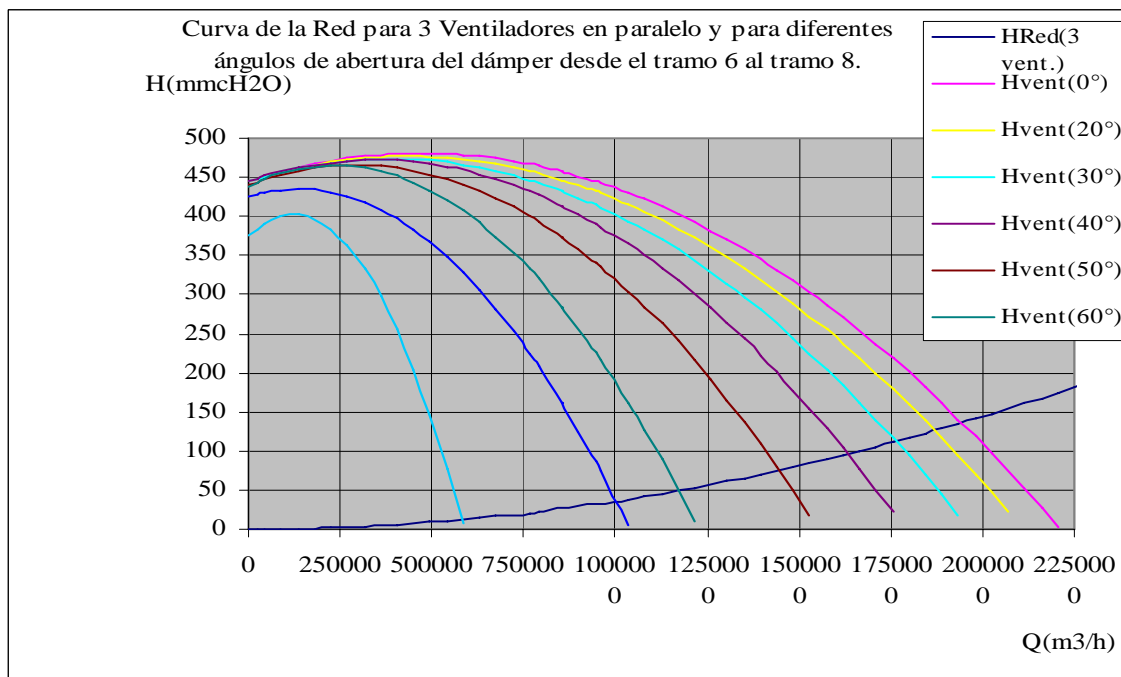


Figura: 2.2. Curvas de la red para 3 ventiladores en paralelos y para diferentes ángulos de abertura del dámper desde el tramo 6 al 8

un reducido)

$$C = D - d \quad \theta = \tan^{-1} \frac{C}{Hch} \quad \text{Como } \theta < 45^{\circ}$$

$$Kch = 0,8 \cdot \operatorname{sen} \frac{\theta}{2} \cdot \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right) \dots \dots \dots 2.30.6$$

$$Kch = 0,017$$

Cálculo de la longitud equivalente de la chimenea, $Leqch(m)$

$$Leqch = \frac{Kch \cdot d}{\lambda} \dots \dots \dots 2.30.7$$

$$Leqch = 5,516m$$

Cálculo de la longitud total de la chimenea para las producciones actuales, $LTch(m)$

$$LTch = Hch + Leqch \dots \dots \dots 2.30.8$$

$$LTch = 145,516m$$

Cálculo de las pérdidas de presión en la chimenea, $\Delta Hch(mmH_2O)$

$$\Delta Hch = \frac{\lambda \cdot LTch \cdot Q_{tgc}^3}{12,1 \cdot deqch^5} \cdot \rho_{gss} \dots \dots \dots 2.30.9$$

$$\Delta Hch = 1,740mmH_2O$$

Cálculo del tiro real de la chimenea $TRch(mmH_2O)$,

$$TRch = Tch - \Delta Hch \dots \dots \dots 2.30.10$$

$$TRch = 76,968mmH_2O$$

El cálculo del tiro real de la chimenea nos dice que los ventiladores ubicados después de los electrofiltros tienen una reserva de presión numéricamente igual al tiro real de la chimenea de $Trch = 76,968mmH_2O$, lo cual permite que los ventiladores trabajen más eficientemente.

2.5. Cálculo de la capacidad de los transportadores КПС-320 y КПС- 650.

En los Sistemas de Limpieza de Gases de la UBP Secadero los electrofiltros y los embudos muertos poseen tolvas de almacenamiento de mineral, éste es descargado en

los transportadores de paletas hundidas KIIC-320 de 15 t/h de capacidad, cada transportador llevará su carga a otros transportadores similares KIIC-650 pero de mayor capacidad 50 t/h. Estos últimos descargan su contenido en las tolvas de mineral que alimentan a las bombas de transporte neumático, las cuales son las encargadas de conducir este polvo hacia las tolvas de producto final de los molinos. En cada línea de la planta hay 2 transportadores KIIC-320 de 15 t/h de capacidad para cada tolva de almacenamiento del electrofiltro y de los embudos muertos, los 6 transportadores de las 3 primeras líneas de la planta descargan su mineral en el primer transportador KIIC-650, los 6 transportadores de las líneas 4, 5 y 6 lo hacen en el segundo transportador KIIC-650, los restantes transportadores no funcionan porque la línea 7 no está en marcha.

Para producir 31500 t/año de mineral seco con 4 Secaderos trabajando actualmente, es necesario suministrar a la planta un tonelaje de mineral ver tabla 2.13.

Tabla 2.13. Valores para producir 31500 t/año de mineral seco,

(t/año)	(t/días)	(t/horas)	(t/Secadero)
3028840,15	8298,192	345,758	86,44

El flujo de polvo que se arrastra hacia los SLG y que debe ser captado por los equipos del SLG es: El 52,3% de las 86,44 toneladas de mineral seco por secadero, representando unas $Q = 45,26t/h$. Además éstas 45,26 t/h serán llevadas por los transportadores KIIC-320 a los KIIC-650 y estos hasta las tolvas de almacenamiento de mineral.

Para determinar la capacidad real de los transportadores se realizaron los siguientes cálculos:

Para el transportador KIIC-320

Velocidad del transportador $V_t = 0,2m/s$

Capacidad $Q_h = 15t / h$

Longitud $L = 28,91m$

Ancho de la paleta $a_p = 0,290m$

Altura de la paleta $b_p = 0,060m$

Ancho de la canal $a_c = 0,320m$

Altura de la canal $b_c = 0,410m,$

Motor eléctrico modelo 4A112M4T1

Número de revoluciones por minutos: 1800 rpm

Voltaje: 440 V

Frecuencia: 60 HZ

Potencia: 5,5KW

Relación de transmisión $i = 90$

Coeficiente de llenado $\Psi = 1$

Coeficiente que depende del ángulo de inclinación del transportador: $C_3 = 1$

El área de transportación del mineral es igual al área de la paleta: $A_0 = A_p$

$$A_0 = a_p \cdot b_p \quad \dots \dots \dots \quad 2.31$$

$$A_0 = 0,0174m^2 \quad \dots \dots \dots$$

Cálculo de la productividad horaria $Qh(t/h)$ de los 2 transportadores KIIC-320 a una velocidad de transportación de $Vt = 0,2m / s,$

$$Qh = \left(3600 \cdot A_0 \cdot C_3 \cdot \Psi \cdot Vt \cdot \frac{\rho_{polvo}}{1000} \right) \cdot 2 \quad \dots \dots \dots \quad 2.32$$

$$Qh = 21,30t / h$$

Estos dos transportadores KIIC-320, de capacidad 15 t/h cada uno, trabajando a una

velocidad de transportación de $V_t = 0,2m/s$, con $\Psi = 1$, no son capaces de llevar todo el mineral que se capta en los SLG hacia el transportador KΠC-650.

Aumentando la velocidad de los transportadores (dentro del rango de 0,2 a 0,63 m/s) con 0,48 m/s su productividad horaria aumenta.

Cálculo de la productividad horaria $Q_h(t/h)$ de los dos transportadores KΠC-320 con una velocidad de transportación de $V_t = 0,48m/s$ y $\Psi = 1$.

$$Q_h = \left(3600 \cdot A_0 \cdot C_3 \cdot \psi \cdot V_t \cdot \frac{\rho_{polvo}}{1000} \right) \cdot 2 \quad 2.33$$

$$Q_h = 51,526t/h$$

Para este valor de productividad los dos transportadores sí son capaces de llevar todo el mineral recolectado en los SLG hasta el transportador KΠC-650.

Para el transportador KΠC-650 de:

Velocidad del transportador $V_t = 0,2m/s$

Capacidad $Q_h = 50t/h$

Longitud $L = 30,909m$

Ancho de la paleta $a_p = 0,570m$

Altura de la paleta $b_p = 0,085m$

Ancho de la canal $a_c = 0,650m$

Altura de la canal $b_c = 0,410m$

Motor eléctrico modelo 4A132M4T1

Número de revoluciones por minutos: 1800 rpm

Voltaje: 440 V

Frecuencia: 60 HZ

Potencia: 11KW

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADO E IMPACTO AMBIENTAL.

3.1. Introducción

Para la evaluación del Sistema de Limpieza de Gases es necesario hacer una valoración del impacto ambiental que emite la UBP Secadero y su influencia en la salud de los obreros que laboran en esta área, la población del municipio de Moa y el medio ambiente en general, definiendo las posibles vías de afectaciones y la determinación de los niveles de emanaciones logrados una vez implementado el trabajo.

El **objetivo** del presente capítulo es: Analizar los resultados obtenido en el trabajo considerando el impacto ambiental asociado a la misma.

3.2. Datos que se utilizaron en el capítulo 2 para la realización de los cálculos.

Tabla 3.1. Datos de entrada para realizar el balance de Masa y Energía en el Tambor Secador

Flujo másico del mineral húmedo alimentado:	$Q_{minha} = 162,6t/h$
Humedad de entrada del mineral:	$H_{emin} = 38,5\%$
Flujo másico de petróleo:	$Q_{pet} = 3300kg/h$
Temperatura en la cámara de paso:	$T_{cp} = 900^{\circ}C$
Temperatura de los gases de Hornos de Reducción:	$T_{ghr} = 234^{\circ}C$
Por ciento de CO en los gases de Hornos de Reducción:	$\%CO_{ghr} = 1,47$
Flujo volumétrico de los gases de Hornos de Reducción:	$Q_{ghr} = 60789m^3n/h$
Presión de vacío en la cámara de paso del Secadero:	$P_{vacio_{cp}} = 0,0008bar$

Tabla 3.2. Datos de salida del balance de Masa y Energía en el Tambor Secador

Flujo del mineral seco por romana a la salida del Secadero:	$Q_{msec} = 100t/h$
Humedad de salida del mineral:	$H_{s\ min} = 4,5\%$
Flujo real de los gases a la salida del Secadero:	$Q_{tgss} = 263200m^3/h$
Flujo normal de gases a la salida del Secadero:	$Q_{ngss} = 187900m^3n/h$
Flujo real de los gases a la salida del Electrofiltro:	$Q_{gse} = 300400m^3/h$
Temperatura del punto de rocío a 367,966 mm Hg:	$T_{pr} = 81^{\circ}C$
Calores entrantes:	$Q_e = 4,967 \cdot 10^7 kcal/h$
Calores salientes:	$Q_s = 4,915 \cdot 10^7 kcal/h$
Por ser combustión completa no hay CO ni H ₂ en los gases de salida	
Flujo másico asumido para los cálculos de Q_{tparr} $P = 100000kg/h$	
Presión estática promedio a la salida de la cámara de evacuación	$P_e = -101,175mmcH_2O$ $P_e = -7,442mmcHg$
Las condiciones normales que se toman se reflejan a continuación	
(0 °C y 760 mm Hg (1 atm))	
La densidad del polvo es	$\rho_{polvo} = 850kg/m^3$

Tabla 3.3. Parámetros de los gases a la entrada y salida de los Secaderos, ciclones y Electrofiltro

Equipos Tecnológicos, sistema de Limpieza de Gases	Vol. Gas m ³ /h entrada	Cont polvo entrada t/a	Vol. Gas m ³ /h salida	Cont. Polvo Kg/h salida
Secadero N ₁ , ciclones Electrofiltro	212,0	24480	252	35,78
Secadero N ₂ , ciclones Electrofiltro	212,0	24480	252	35,78
Secadero N ₃ , ciclones Electrofiltro	212,0	24480	252	35,78
Secadero N ₄ , ciclones Electrofiltro	212,0	24480	252	35,78
Secadero N ₅ , ciclones Electrofiltro	212,0	24480	252	35,78
Secadero N ₆ , ciclones Electrofiltro	212,0	24480	252	35,78
Total en la Sección de secadero:	1272,0	146880,0	1512,0	214,7

Haciendo una comparación de los parámetros de entradas y de salida reflejados en la **tabla 3.3** podemos apreciar la capacidad de captación del sistema de limpieza de gases general y nos brinda la información que no es totalmente eficiente.

3.3. Valoración económica.

Cantidad de Fuel utilizado en el calentamiento de los gases fríos que se inyectaban al SLG de los secaderos.

A los SLG de los secaderos 101, 102, 103, se le inyectaba un volumen de aire frío de 18 000 m³/h (5 m³/s), a una temperatura de 32 °C y una densidad de 1.14 kg/m³ proveniente de los ventiladores del antiguo sistema de aspiración.

Cantidad de calor necesaria para el calentamiento

Partiendo de la ecuación de balance térmico planteamos.

Para aire frío a una temperatura $t_a = 30^\circ C$.

$$C_{p_{aire}}(30^\circ C) = 0.240 \text{ Kcal/Kg } ^\circ C$$

$$G_{m.aire} = 5.7 \text{ Kg/seg}$$

$$t_{gases} = 90^\circ C$$

$$Q_1 = G_{m.aire} \cdot C_{p_{aire}}(30^\circ C) \cdot (t_{gases} - t_a)$$

$$Q_1 = 295\,488 \text{ Kcal/h} \rightarrow 1.24 \times 10^6 \text{ KJ/h}$$

Cantidad de petróleo que se ahorra por calentar el aire.

$$G_{pet.} = \frac{Q}{V.C.B} \quad \text{donde: VCB valor calórico (9 660 kcal/kg)}$$

$$G_{pet.} = 30.78 \text{ Kg/h}$$

Obteniendo un valor total de **269.63 ton fuel / al año** con un precio de **523,366 \$/ton**

Valor ahorrado = **141115,175 \$/año.**

Tabla 3.4. Valores obtenidos y costo del Fuel utilizado en el calentamiento de los gases fríos que se inyectaban al SLG de los secaderos

Cantidad de petróleo que se ahorra por calentar el aire.	$G_{pet}=30.78 \text{ Kg/h}$
Valor total	269.63 ton fuel/al año
Precio al año	523,366 \$/ton
Valor ahorrado	141115,175 \$/año

Según comprobaciones actuales a través de mediciones, se confirma que la UBP Secadero emite a la atmósfera una carga de polvo de 1,03 t/h, teniendo en cuenta que una tonelada de mineral seco cuesta \$ 3606,99 esto trae una pérdida económica de \$ 3715,2 por ineficiencia en el SLG.

Tabla 3.5. Valores de pérdidas económicas que tiene la planta por el mineral que se va por chimenea que no se capta por el SLG

Carga de polvo que emite la planta a la atmósfera	1,03 t/h
Costo de una tonelada de mineral seco	\$ 3606,99
Pérdida económica	\$ 3715,2

Tabla 3.6. Partes y componentes de un electrofiltro y valor de consumo energético

N _o	Descripción	Potencia	Cantidad	Total
1	Mecanismo de sacudida	0,6 kW	11	6,6kW
2	Máquinas ATF - 600	60 kW	6	360 kW
3	Transportadores cortos	5,5 kW	2	11 kW
4	Ventilador de tiro	630 kW	1	630 kW
5	Transformador	1 kW	1	1 kW
6	Total	-	-	1008,60 kW

En la planta operan 6 electrofiltros y el consumo de electricidad es de $1008,60 \text{ kW} \cdot 6 = 6051,60 = (6,051 \text{ mW/horas})$.

Tabla 3.7. Valores del consumo en mW/hora y costo económico de los electrofiltros en la UBP Secaderos

Consumo de electricidad	6,051 mW/horas
Costo de 1 mW/hora	189,5 CUC
Consumo de costo eléctrico en los electrofiltros	1146,66 CUC/horas

3.4. Impacto ambiental.

Proteger el medio ambiente se ha convertido, en los últimos años, en una de las cuestiones que más inquietan a la humanidad. Los grandiosos medios técnicos de que dispone el hombre para explorar las riquezas naturales, el acelerado desarrollo de la economía y el crecimiento demográfico que hoy se desliza en la población mundial, han dado lugar a consecuencias indeseables para el planeta, tales como: el agotamiento de los recursos naturales, la contaminación ambiental, los ruidos, la pérdida de los valores estéticos del medio circundante y la merma acelerada del fondo genético, entre otros. No es por lo tanto casual que las organizaciones científicas, sociales, políticas, los estados y gobiernos de muchas partes del mundo se hayan preocupado por tomar medidas que, de una forma u otra, están dirigidas a garantizar un uso racional de los recursos naturales y la protección del medio ambiente. Hay que mencionar también que el ambicioso período industrial moderno se ha caracterizado por la creación masiva de máquinas y los procesos de fabricación que emplean energía. Las fuentes principales de éstas son los carbones, el petróleo, el gas natural y de alguna otra manera la energía hidráulica y nuclear.

Las condiciones de trabajo son el pilar fundamental del estado de salud de los trabajadores, su entorno laboral y su labor específica, pues en este medio es donde el mismo se expone a los diferentes contaminantes, entre los que se encuentran el polvo industrial, ruido, gases, etc.

La luz solar en gran medida es absorbida por las partículas suspendidas en la atmósfera, reduciendo la energía que llega a la tierra y produciendo cambios que disminuyen notablemente la luminosidad y visibilidad; además de la luz solar las partículas en suspensión absorben la luz producida por medios artificiales.

Este fenómeno se encuentra ligado a la concentración de partículas, pero así mismo influye el tamaño de éstas. Para una misma concentración las partículas que absorben una mayor cantidad de energía son las de diámetros comprendidos entre 0,1 a 1 μ m.

Estas influyen sobre los materiales, entre los efectos que pueden tener sobre estos tenemos:

- Abrasión: realizada por aquellas partículas de mayor tamaño y dotadas de elevada velocidad (efecto de pequeña incidencia).
- Ataque químico: puede realizarse directamente por las partículas o generalmente por los gases existentes conjuntamente, tras el efecto de abrasión realizado por las partículas.

Particularizando podemos afirmar que el desarrollo de la industria minero-metalúrgica en el municipio de Moa, es una muestra de lo agresiva que puede ser la actividad humana sobre el medio ambiente.

Las emisiones de gases con polvo que son lanzadas a la atmósfera por parte de las plantas de la Empresa Comandante Ernesto Ché Guevara requieren de una atención especial por las características físico-químicas de las mismas y de las condiciones climatológicas y topográficas del municipio de Moa.

Por el proceso tecnológico que en ella se desarrolla la **UBP Secadero**, es responsable de tres contaminantes al medio ambiente.

- Ruidos
- Polvos
- Gases

Por las características propias del trabajo en la planta, el personal que trabaja directamente en su proceso productivo está expuesto a ruidos y vibraciones de carácter permanente, que pueden repercutir en enfermedades desde el punto de vista profesional, (Enfermedades profesionales) que en la mayoría de los casos son irreversibles y inciden indirectamente en todas las actividades socioeconómicas de las personas afectadas.

Los efectos provocados por los contaminantes antes mencionados y que son emitidos por la UBP Secaderos pueden ser muy variados, y depende del tipo de contaminante y de su nivel de concentración.

Al concentrarse los Óxidos de Azufre (CO_2) provocan irritaciones en el sistema respiratorio que puede llegar hasta el sangramiento nasal (en concentraciones de 10ppm un tiempo de exposición de 1 hora).

De sus inconveniencias podemos afirmar que este contaminante acelera el proceso de oxidación de los metales, y en concentraciones de 0,03 ppm puede producir afectaciones crónicas a la vegetación y fuertes caídas de las hojas.

Con las existencia de grandes concentraciones de monóxido de carbono (CO), esto puede llegar a ser letal para la vida, produciendo trastornos en la circulación del oxígeno por la sangre.

El 9 % de la masa total de contaminante que sale a la atmósfera por esta vía está formado por partículas sólidas, estas pueden ser químicamente inertes o activas. Cuando se combinan estos con otros contaminantes representan también un peligro para la salud, con mayor vulnerabilidad se encuentran los órganos respiratorios fundamentalmente de los niños. Además acelera el proceso de corrosión en las láminas de acero y zinc.

Los valores límites permisibles de las concentraciones de polvo que pueden ser lanzadas a la atmósfera por las fábricas metalúrgicas de metales no ferrosos a nivel internacional son de 20 a 30 (gr/m^3).

En mediciones realizadas a la planta objeto de estudio podemos apreciar las emisiones por chimenea en el mes de enero del 2012, recogiendo varios parámetros mostrados en la tabla 3.8, para ver el comportamiento de uno de estos parámetros en el gráfico 3.1 se da la posibilidad de ver como varía la carga del polvo a la atmósfera debido a los incrementos productivos.

Tabla 3.8. Sistema de Limpieza de Gases Secaderos resumen de emisiones por chimenea para el mes de enero del 2012

	Flujo Gases	Flujo Gases	Temp. Gases	Conc. Polvo a la atm	Carga de Polvo a la atm	Conc Prom Sal EF
Fecha	m ³ /h	m ³ N/h	°C	g/m ³ N	kg/h	g/m ³ N
03-Ene-12	1170458,68	893538,69	74,94	0,873	780,311	0,836
10-Ene-12	899593,31	671972,97	82,57	1,632	1096,597	1,502
18-Ene-12	1173573,10	899309,96	73,62	0,811	729,497	0,788
25-Ene-12	898045,08	685969,96	74,74	0,395	270,789	0,393
31-Ene-12	1238865,83	951286,24	72,05	0,651	618,839	0,628
Res Ene	1076107,199	820415,562	75,583	0,872	699,207	0,829

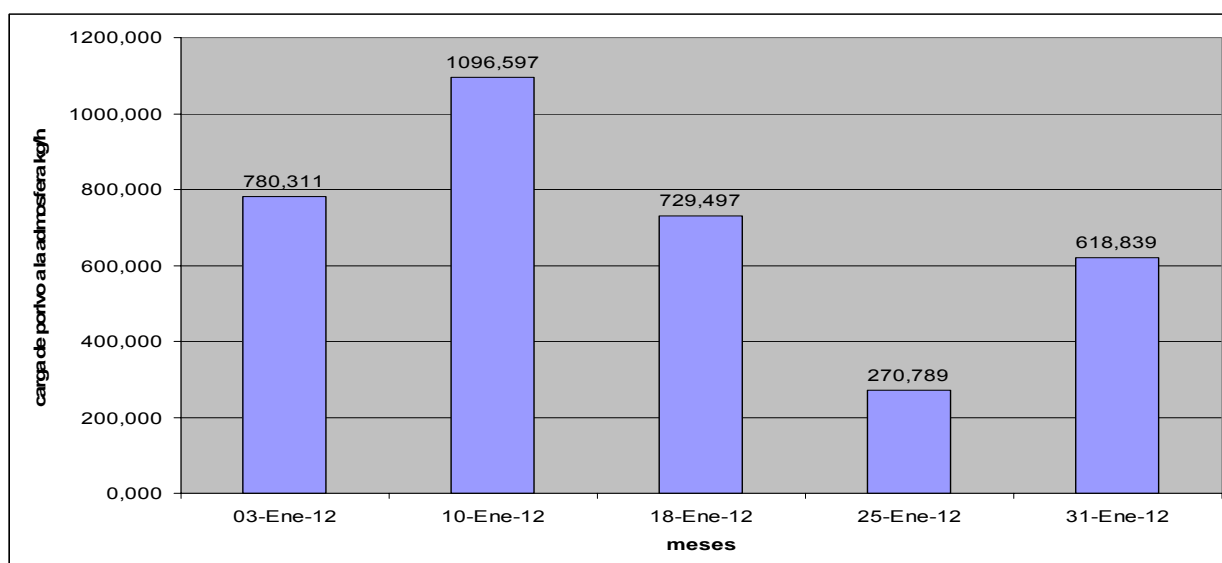


Grafico 3.1. Comportamiento de la carga del polvo a la atmósfera en el mes de enero

3.5. Conclusiones

1. Se demostró para la eliminación del daño que las emanaciones de polvo provocan a la salud humana y al medio ambiente, es factible tener en cuenta el estudio realizado en el SLG
2. Se demuestra que por ineficiencia del SLG y por sobre producción la planta tiene una pérdida económica de \$ 3715,2 por mineral que se va por chimenea.

CONCLUSIONES GENERALES

- Para una productividad por línea de secado de 86.44 t/h se arrastran 44.18 t/h de polvo, ello representa el 52,35 %. El diámetro de las partículas arrastradas es de 269 μm .
- El incremento de la productividad de la empresa hasta 31500 t/año trae consigo que no sea posible el trabajo estable de los ciclones y electrofiltros, debido al incremento de la velocidad de las partículas por el interior del los electrofiltros hasta valores superiores a los permisibles que es de 1m/s; los ventiladores, conductos y chimenea operan correctamente.
- Los transportadores de rastrillos de paletas hundidas KIC-320 están trabando con el valor mínimo de velocidad por lo que no satisfacen el trasiego de mineral recolectado en los SLG. Con un incremento en los valores de velocidad, superiores a las que se está operando actualmente, se pueden evacuar el polvo captado por el sistema en su totalidad.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar la posibilidad de:
 - Cambiar los ciclones por otros más eficientes
 - Incrementar el diámetro de los ciclones hasta un valor que garantice velocidades apropiadas para aumentar la eficiencia de la captación
 - Aumentar el número de ciclones para de esta forma obtener velocidades que estén dentro del rango permisible en las normas.
2. Proponer el diseño para la construcción de electrofiltros más grande que permita velocidades apropiadas de las partículas al pasar por el interior del mismo que debe ser de 1 m/s, para aumentar la eficiencia de la captación, en este momento por el incremento de la productividad la velocidad de las partículas al pasar por dentro de los electrofiltros es 1,2 m/s lo que da al traste que la capacidad de captación sea menor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alberti (1991). E. Advanced Design of Pneumatic Conveying Systems. Bulk solids handling. 11(1): 103 – 110.
2. Arnold, P.C; P.W. Wipych (1991). The development of pneumatic conveying in. Bulk solids handling .11(1): 85 – 91, Australia.
3. Aróstegui, J. M.(1978). Metodología del Conocimiento Científico. Editorial de Ciencias Sociales, La Habana, Cuba.
4. Bradley, M.(1990). Pressure losses caused by bends in pneumatic conveying pipelines. Powder handling processing. 2(4). USA.
5. CEPRONI (1995). Determinación de las velocidades en los ductos de las baterías de ciclones B1-3, B1-4, B1. Centro de Proyecto del Níquel. Moa. Holguín.
6. Crawley, M; J. Bell (2002). The application of life cycle cost analysis to pneumatic conveying systems. <http://www.macawber.com>. July.
7. Darren, T.(2000). Pneumatic conveying, basic design and component options. <http://www.Powderandbulk.com>. July.
8. Dinulescu, H. A.; Eckert, E.R.G.(1985). Analysis of the one dimensional moisture migration caused temperature gradients in porous medium. Int. J. Heat Mass Transfer. 28 (9): 1069 – 1077.
9. Dynamic Air (2002). Sistemas de transporte neumático en fase densa. <http://www.dinamicair.com>. July.
10. Farnish R.(2002). Wear in lean – phase pneumatic conveying pipelines. <http://www.powderanbulk.com>. September.
11. Fitzgerald S. A (1996). Pneumatic conveying powder delivery system for continuously heterogeneous material deposition in solid freeform fabrication. Thesis of Master. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. 140p.
12. Gordón, G. M (1981). Captación de polvos y purificación de gases en la metalurgia de metales no ferrosos. Editorial MIR, 391pp. Moscú.

13. Guzmán D.(2001). Modelación, simulación y control del tanque de contacto y los enfriadores de licor en el proceso de lixiviación carbonato amoniaca. Tesis doctoral. ISMM, Moa, Cuba.124p
14. Hayes, J; A. R. Reed; M. S. Bradley (1993). Economics of pneumatic conveying systems. Powder handling processing. 5(1): 1 – 5.
15. Hettiaratchi, K; S. Woodhead (1998). Comparison between pressure drop in horizontal and vertical pneumatic conveying pipelines. Powder technology, 95: 67 – 73. USA
16. Hurtado, F. G. (1999). Estudio de la Influencia en el Medio Ambiente del Sistema de Generación de la Empresa del Níquel Ernesto Che Guevara y el Sistema de Transmisión Eléctrico Adyacente. Tesis doctoral. ISMM, Moa. 120p.
17. Kallel, F.; et al(1993). Effects of moisture on temperature during drying of consolidated porous materials. J. Heat Transfer, ASME Trans. 115: 724 – 733.
18. Lampinen, M.(1991). Calculation Methods for Determining the pressure Loss of Twophase Pipe Flow and Ejectors in Pneumatic Conveying Systems. Acta polytechnica scandinavica. Mechanical Engineering series No 99.
19. Mason, D; P.(1998). Marjanovic; A. Levy. A simulation system for pneumatic conveying systems. Powder Technology. 95 (1): 7 – 14.
20. Massoudi M; K. R. Rajagopal; T. X. Phuoc (1999). On the fully developed flow of a dense particulate mixture in a pipe. Powder technology. 104 (1): 258 – 268.
21. Méndez E, Toro F.(2003). Manual de usuario proyecto CITRIX planta preparación de mineral (<http://www.ecg.moa.minbas.cu/CheNet/>) Moa. Holguín.
22. Mesarovich, M. (1996). Fundamentación de la Teoría General de los Sistemas. Editorial MIR. URSS, pp. 422-436.
23. Miranda, J. L.(1996). Comparación y conjugación de métodos de determinación de humedad en la Industria del Níquel. Minería y Geología. Moa. 13 (2): 42 – 47.
24. Neidigh S.(2002). Introduction to the theoretical and practical principles of pneumatic conveying.<http://www.porttechnology.org/journals/ed12/pdfs/pt12-235.pdf>. November.

25. Pacheco Berlot, P.(1984). Ecuaciones para el diseño de instalaciones a transporte neumático por tuberías verticales de materiales polvorientos, granulados, polimorfos y poli dispersos. Tesis doctoral. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. 120p.
26. Pan, R; P. Wypych(1997). Scale – up procedures for pneumatic conveying design. Powder handling processing. 4(2): 167 – 172.
27. Paul, S.(1999). What is Dense Phase Conveying. <http://www.powderandbulk.com>. March.
28. Reed, R; Bradley, M.(1991). Advances in the Design of Pneumatic Conveying Systems. Bulk solids handling. 11(1): 93 – 98.
29. Rodes, M.(2001). Pneumatic Transport of Powders. <http://www.erpt.org>. Octubre.
30. Serrano L.(2008). Tecnología de depuración de partículas. Universidad de Cádiz, Sevilla, España
31. Singer T.(2002). You too, can select a pneumatic conveying system. <http://www.powderandbulk.com>. September.
32. Torres, E.(1999). Investigación del transporte neumático de partículas en los gases durante el secado del mineral laterítico en tambores cilíndricos rotatorios. Tesis de Maestría. Facultad de Metalurgia y Electromecánica, ISMM, Moa, Holguín. 87p
33. Torres, E.(2002). Características físicas y aerodinámicas del mineral laterítico utilizado en los sistemas de transporte neumático de la industria del níquel. Memorias de la tercera conferencia internacional CINAREM 2002. Moa, Holguín.
34. Weber, M.(1991). Friction of the Air and the Air/Solid Mixture in Pneumatic Conveying. Bulk solids handling.11(1): 99 – 102.
35. Whitaker, S.(1977). Simultaneous heat, mass and momentum transfer and theory of drying. Adv. Heat Transfer. 13: 119 – 203.
36. Wypych, P; P. Arnold (1989). Plug – Phase Pneumatic Transportation of Bulk Solids and the importance of Blow Tank Air injection. Powder handling processing. 1(3): 271 – 275.

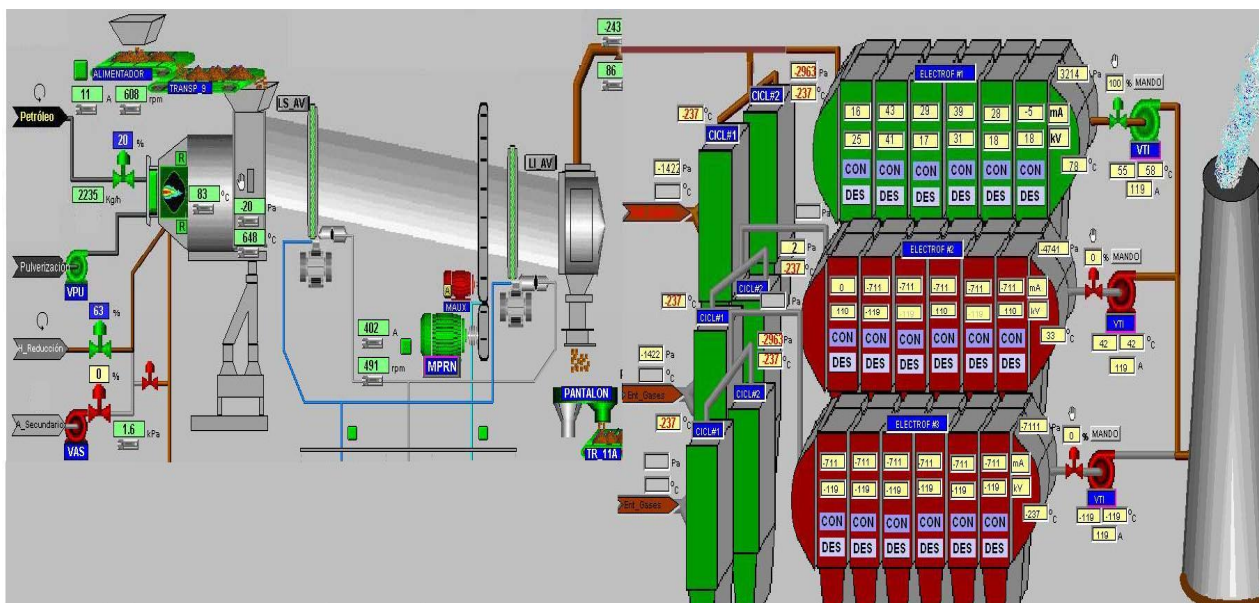
ANEXOS

Impacto ambiental



Anexo1. Vista de las emisiones de gases y polvos en la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

AUTOR: FIDIELQUI TERRERO PEÑA



Anexo 2. Diagrama de flujo del Sistema de Limpieza de Gases en la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

AUTOR: FIDIELQUI TERRERO PEÑA