



Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. "Antonio Núñez Jiménez"
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia

PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE POLVO EMITIDO AL MEDIO AMBIENTE EN LA PLANTA DE PREPARACIÓN DE MINERAL DE LA EMPRESA "RENÉ RAMOS LATOUR"

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Metalúrgico

ALEANDRO AGUILAR GUZMÁN

Moa

2013



Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. "Antonio Núñez Jiménez"
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia

PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE POLVO EMITIDO AL MEDIO AMBIENTE EN LA PLANTA DE PREPARACIÓN DE MINERAL DE LA EMPRESA "RENÉ RAMOS LATOUR"

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Metalúrgico

Autor: Aleandro Aguilar Guzmán

Tutores: Prof. Asistente Ing. Orleidy Loyola Breffe, MSc.

Ing. Manuel Aguilar Fernández

Moa

2013

PENSAMIENTO

“Los hombres necesitan conocer, cultivar y aprovechar los elementos inagotables e infatigables de la naturaleza. Los hombres crecen cuando aprenden algo, cuando entran a poseer algo, y cuando han hecho algún bien. Con el conocimiento de la ciencia, el hombre revela su propia naturaleza”

José Martí Pérez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia; especialmente a mi esposa, y mis dos hijas, a mis profesores, compañeros de estudios y trabajo que tanto me alentaron para continuar en esta difícil tarea; para que les sirva de ejemplo y a la vez que valoren que todo es posible cuando nos enfrascamos en el cumplimiento de una de nuestras aspiraciones.

Para el desarrollo del presente trabajo nos inspiramos en uno de los pensamientos de gran vigencia pronunciado por Raúl Castro en el que se expresa:

“Mientras más ideas seamos capaces de provocar en el análisis de un problema, más cerca estaremos de su solución”

A toda mi familia en general.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que de alguna forma contribuyeron a que pudiera alcanzar este punto de partida en mi carrera como un futuro profesional

A los tutores, por su ayuda invaluable, el espíritu de sacrificio y la disposición siempre demostrada para que yo pudiera darle cumplimiento a este trabajo como culminación de mis estudios.

A mis profesores, muchas gracias.

El Autor.

RESUMEN

El trabajo se fundamenta en el empleo de Captadores Turbulentos Rápidos por vía Húmeda (CTRH), como medio para la Captación de polvo y purificación de gases. Por tanto, el propósito de esta investigación es proponer un esquema para reducir la contaminación atmosférica por emanaciones de polvo, mediante el empleo de captadores rápidos húmedos turbulentos, en la planta de secado de la empresa “René Ramos Latour”. Para ellos se utilizaron metodología de cálculo reportadas en los libros. Como resultado se obtuvo el diseño del sistema completo de lavado de polvo (incluyendo el tubo de venturi y el hidrociclón). Por tanto se pudo proponer un esquema tecnológico para la purificación de los gases con bajo costo económico, alta estabilidad y mantenimiento prácticamente nulo.

Palabras clave: Captación de polvo, lavadores de gas, medio ambiente.

SUMMARY

The work is based in the employment of Captators Turbulent Rapids for via Humid (CTRH), like means for the powder Reception and purification of gases. Therefore, the purpose of this investigation is to propose an outline to reduce the atmospheric contamination for powder emanations, by means of the employment of turbulent humid quick captators, in the plant of drying of the company "René Ramos Latour". For them calculation methodology reported in the book were used. As a result the design of the complete system of powder laundry was obtained (including the venturi tube and the hydro hurricane in it). Therefore it could intend a technological outline for the purification of the gases with low costs economic, high stability and practically null maintenance.

Words key: Powder reception, washers of gas, environment

ÍNDICE

PÁG.

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	5
1.1 Conceptos básicos	5
1.2 Condiciones actuales y causas de la contaminación ambiental	6
1.3 Normativas nacionales e internacionales	12
1.3.1 Partículas en suspensión en el aire (APM)	12
1.3.2 Calidad del aire. Vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos	15
1.4 Flujo tecnológico desde los depósitos a los secaderos rotatorios ..	17
1.5 Secaderos rotatorios	20
1.5.1 Sistema primario de colección de polvo (Ciclón)	23
1.5.2 Ventiladores de tiro forzado	24
CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS	25
2.1 Elementos a incorporar en el nuevo sistema	26
2.1.1 Tubo Venturi	26
2.2 Funcionamiento del Hidrociclón	29
2.3 Principios de Operación de todo el conjunto	31
2.3.1 Metodología de cálculos de captadores de polvo rápido (CPR)	33
2.3.2 Cálculo de las dimensiones del tubo Venturi	33
2.3.3 Cálculo del ducto de entrada al Hidrociclón	34
2.3.4 Cálculo del consumo de agua	34
CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	36
3.1 Composición química del polvo que se pretende evitar su emisión al medio ambiente.	36
3.2 Análisis de los resultados de las dimensiones del Venturi	37
3.3 Análisis de los captadores de polvo rápido (CPR)	39
3.4 Consumo de agua en el hidrociclón	42
3.5 Esquema propuesto para los Secaderos	43
3.6 Valoración económica	43
3.7 Impacto Medioambiental	44
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	47

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo investigativo se persigue como objetivo básico la reducción de la contaminación ambiental ocasionada por material particulado emitido a la atmósfera por los secaderos de la Empresa “René Ramos Latour”

En la actualidad las principales fuentes emisoras de contaminantes a la atmósfera, además del transporte, son las instalaciones industriales, no estando el territorio del norte holguinero exento de ello por constar entre sus instalaciones fabriles con la empresa productora de níquel René Ramos Latour, la Termoeléctrica Lidio Ramón Pérez y algo más al este la Empresa Ernesto Che Guevara, la Empresa Pedro Soto Alba, todas ellas emisoras de alto volúmenes de contaminantes sólidos y líquidos unidos a otros de carácter gaseoso.

Las principales fuentes de emisión de contaminantes sólidos, líquidos y gases en la René Ramos Latour se localizan en: Los Secaderos y Molinos, Hornos de Reducción, Lixiviación y Lavado, Recuperación y Sinter, Termoeléctrica, todos altamente dañinos en primera lugar a los que en ella laboran así como a la flora, fauna, construcciones y ciudadanía de sus alrededores. En este trabajo solo se hace alusión a situaciones existentes en la fábrica de Nicaro.

El presente trabajo está basado técnicamente en los conocimientos teórico-prácticos que se tienen sobre el uso de estas instalaciones y en la literatura especializada sobre el tema de captación de polvo y purificación de gases por vía húmeda, por lo que se pretende con el empleo de los recursos disponibles de forma estable reducir la contaminación a límites permisibles, tan necesarios a fin de proteger a todo el sistema ecológico.

Fundamentamos el trabajo en el empleo de Captadores Turbulentos Rápidos por Vía Húmeda (CTRVH) a colocar al final del esquema de limpieza de gases de los

Secaderos rotatorios de la Empresa “René Ramos Latour”, y cuyos principios pueden ser aplicados a otras fuentes similares emisoras de material particulado.

Los polvos que se generan en dichas instalaciones son el resultado de su proceso productivo y en gran medida por la falta de hermeticidad en los sistemas, en los que se incluye: secado y molienda, trituración, transporte, reducción, calcinación, sinterizarían y generación de energía, como se puede ver se tienen varias fuentes emisoras de contaminantes, y a algunas de ellas de una u otra forma pueden aplicarse los mismos principios.

La protección de la atmósfera debe ser una tarea priorizada por muchos estados, de ellas obtenemos directamente el oxígeno e indirectamente los demás recursos tan imprescindibles para la existencia, y es por ello que en la mayoría de los países están establecidos los límites permisibles de emisión de sustancias nocivas a la atmósfera y demás medios ambientales y Cuba no está exenta de estos compromisos.

Para reducir al mínimo la contaminación atmosférica existen diferentes métodos y medios en la captación de polvos y purificación de gases que van desde los más sencillos como los ciclones hasta los más sofisticados y más caros como los electrofiltros, filtros de mangas, todos ellos aplicables a los mismos propósitos y condiciones, siempre sabiendo que la selección del dispositivo a utilizar depende de la composición, distribución, granulometría y agresividad del medio en el que son utilizados y del uso que posteriormente se le dé a los contaminantes captados y un elemento de suma importancia es el recurso financiero que se disponga para su selección y aplicación.

Como se ha señalado las instalaciones industriales vierten un gran número de contaminantes a la atmósfera pudiendo ser estos sólidos, líquidos o gaseosos, siendo dentro de los sólidos el polvo uno de los que más afecta, el que en parte por su fineza se mantiene en suspensión por tiempo prolongado en el aire que es respirado, pudiendo penetrar en función del diámetro de las partículas, profundamente en los pulmones y ocasionar daños irreversibles en las vías respiratorias con sus correspondientes padecimientos.

El trabajo que se presenta está referido específicamente a la posibilidad de captar el polvo emitido por los secaderos cuando estos son sacados de sus líneas por interrupciones imprevistas ocurridas en los filtros de mangas, interrupciones que se pueden prolongar desde horas hasta días, contribuyendo además en ello algunas modificaciones inconsultas realizadas en el sistema de limpieza de gases, por lo que consideramos que en ocasiones se sobrepasan los límites de concentración permisibles por material particulado (LCPMP).

El trabajo aunque está basado en el empleo de captadores de polvos por vía húmeda a utilizar en el esquema de limpieza de gases en los secaderos, no excluye que sus principios teóricos y prácticos puedan ser aplicados a otras fuentes emisoras de polvo dentro de la empresa y fuera de ella como es el caso de la Empresa Cmdte. “Ernesto Che Guevara”, con lo que se pretende: contribuir a crear un medio más limpio y saludable para los seres vivos, en general.

Todo lo anterior conduce inexorablemente a la búsqueda de una solución al problema existente que durante años ha afectado a los trabajadores, población y su medio, de ahí que en el presente trabajo se declara como **Situación problemática:** reiterada emisión de polvo al medio ambiente en límites no permisibles, debido al disparo de los filtros de mangas de los secaderos de la empresa “René Ramos Latour”, por bajas o altas temperaturas de los gases.

Como **Problema** nos planteamos: la imposibilidad de evitar las emisiones de polvo al medio ambiente, cuando se disparan los filtros de mangas de los secaderos de la empresa “René Ramos Latour”.

Objeto de investigación: gases con polvo de la empresa “René Ramos Latour”.

Campo de acción: sistema de colección de polvo de los gases de la Planta de Secaderos de la empresa “René Ramos Latour”.

Por tanto, se plantea el siguiente **Objetivo general:** Proponer un esquema para reducir la contaminación atmosférica por emanaciones de polvo, mediante el empleo de captadores rápidos húmedos turbulentos, en la Planta de Secaderos de la empresa “René Ramos Latour”.

Por lo que se plantea como **Hipótesis:** si se propone un esquema para recuperar el polvo que se emana a la atmósfera en la Planta de Secaderos de la empresa “René Ramos Latour”, entonces se podrá reducir la contaminación atmosférica.

Para dar solución al objetivo general se plantean los siguientes **Objetivos específicos:**

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre la temática tratada.
2. Realizar un análisis de las normas medioambientales.
3. Realizar una valoración sobre el sistema de captación de polvo existente en la Planta de Secaderos.
4. Proponer un esquema para el tratamiento húmedo del polvo.

CAPÍTULO 1.

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

La revolución científico-técnica ha agudizado muchos problemas y entre ellos uno de los más importantes, es la relación entre el hombre y el medio ambiente. El problema de protección de la naturaleza – medio ambiente del hombre – contra las consecuencias negativas de su actividad adquiere una importancia social, ya que la amenaza es válida no sólo para la salud de los hombres, sino para la existencia de toda la humanidad.

Lamentablemente la mala calidad del aire continua siendo una amenaza real para la salud en la región que cubre las áreas urbanas de Nicaro, La Pasa, Rio Grande, Levisa llegando su efecto a otras áreas rurales y urbanas más alejadas como Felton, Arroyo Blanco, Corúa, Cuatro Caminos, etc.

Todo aquel que reside en dichas áreas se ve afectado por la contaminación en dependencia del aire reinante, por otro lado en múltiples ocasiones se ha visto como la contaminación oculta la belleza del paisaje, afecta la salud de algunas personas , a pesar de que ese no es el único contaminante a que se está expuesto, es decir, la emisión de polvo está acompañada de los gases productos de la combustión del petróleo aquí se tiene un conjunto de otros elementos también contaminantes como monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno, metano, vapor de agua..

1.1 Conceptos básicos

Se entiende por contaminación atmosférica la presencia en la atmósfera de sustancias en una cantidad que implique molestias o riesgo para la salud de las personas y de los diversos seres vivos, así como que puedan afectar a diversos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables.

Los principales mecanismos de contaminación atmosférica provienen de los procesos industriales en los que se incluye la combustión y la generación de polvos este es el caso particular que se aborda en el presente trabajo, donde utilizando los conocimientos alcanzados y los recursos disponibles se puede contribuir a obtener una atmósfera más saludable. En la figura 1.1 se puede observar una de las formas de contaminación ambiental.

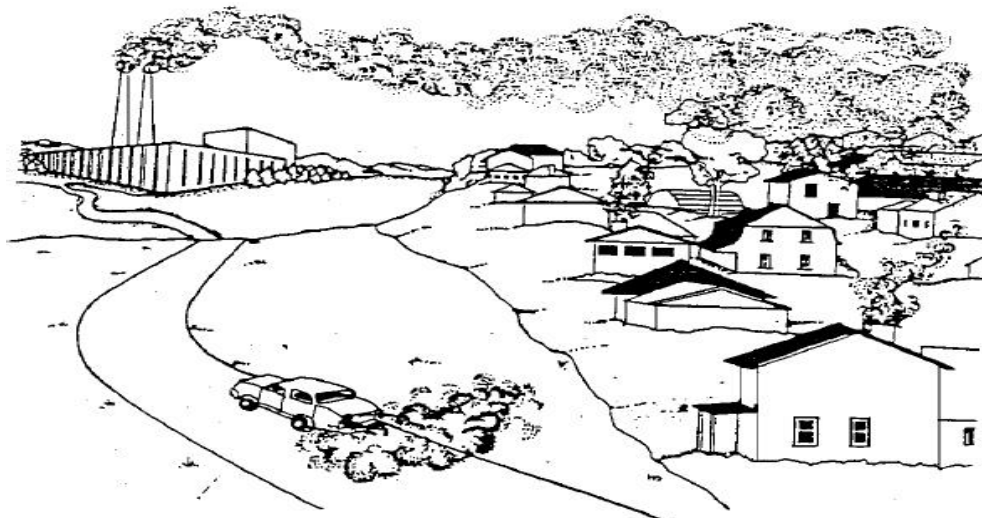


Figura 1.1 Emisión de polvo emitido al medio ambiente a las comunidades dentro del área del radio de acción.

1.2 Condiciones actuales y causas de la contaminación ambiental

El aire que es respirado es una mezcla de gases que posee el elemento esencial para la existencia, el oxígeno, por lo que próximo a las industrias por lo general está contaminado como resultado de los procesos tecnológicos que en ella tienen lugar, tal es el caso de la combustión para el proceso de secado en el que se produce un conjunto de contaminantes como son: Monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, óxido de azufre, hidrocarburos no quemados y cenizas finas, todos ellos unidos al contenido de polvo que en el caso que investigamos estimamos es superior a los 50 mg/m³.

En cada secadero el volumen de gases succionados por diseño del ventilador de tiro es de 2888,32 m³/min para los secaderos del 1 al 4, es de 3001,59 m³/min para los

secaderos 5 al 7, de manera que esta carga al ser expulsada por cualquier causa técnica no prevista altera significativamente el medio ambiente.

En Cuba, el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) ha establecido el Sistema de Control y Gestión Ambiental en correspondencia con las necesidades territoriales y nacionales pero ello no es suficiente si las empresas como grandes emisores no toman las medidas necesarias y suficientes para eliminar o al menos reducir el efecto de esas emisiones, de lo contrario las empresas están sujetas a continuas llamadas de atención por afectaciones a la Pacha Mama.

Es por todo lo anterior que existe la necesidad de estudiar los diversos métodos y medios que permitan mediante su aplicación reducir la contaminación y lograr una atmósfera libre de contaminantes industrial o al menos del polvo, el que por lo general crea en ocasiones el estado de *smog*, excluyendo el resto de los contaminantes que afectan a todos los sistemas ecológicos.

La contaminación afecta a toda la flora y fauna existente en el área de influencia incluyendo las construcciones y las instalaciones industriales, sobre los que se aprecia el efecto de las llamadas lluvias ácidas.

Existen muchos residentes en estas aéreas que experimentan algún tipo de síntoma ocasionados por el polvo como es: ojos llorosos, los ruidos al respirar, etc., aun para las personas sanas, el aire contaminado suele producirle irritación o dificultades al respirar durante el ejercicio o actividades al aire libre. Su riesgo real depende de su estado de salud, el tipo y concentración del contaminante y el tiempo de exposición al aire libre.

Las personas que son más propensas a sufrir problemas graves de salud debido a la contaminación del aire por polvo son:

- Personas con enfermedades cardíacas y pulmonares.
- Personas con problemas respiratorios como asma y enfisema pulmonar.
- Mujeres embarazadas.
- Personas que trabajan al aire libre.

- Niños menores de 14 años, cuyos pulmones aun están en estado de desarrollo.
- Residentes ancianos cuyo sistema inmunes son débiles.
- Atletas que ejercitan enérgicamente al aire libre.

Los niveles altos de contaminación del aire como los que periódicamente se tiene en estas aéreas de influencia industrial, pueden causar problemas de salud grave, inmediata e irreversible.

- Agravar enfermedades cardiovascular y respiratoria.
- Producir más estrés al corazón y los pulmones que deben trabajar más para suministrar oxígeno al cuerpo.
- Dañar las células del sistema nervioso.

Es decir que estudios científicos han establecido una relación entre la materia particulada, específicamente las partículas finas y una variedad de problemas de salud como los señalados.

Como se ha mencionado el material particulado incluye pequeñas partículas sólidas, líquidas, las que también son referidas como humo, polvo, vapor o neblina. Las partículas con menos de 10 μm y 2.5 μm de diámetro están reconocidas como contaminantes críticos, ya que tienen un efecto mayor sobre la salud humana, es por lo que se aplican los conocimientos técnicas y económicos al alcance para capturar estas partículas altamente contaminantes emitidas a la atmósfera por los Secaderos rotatorios.

Lo ideal sería lograr un aire puro el que tendría la composición química, mostrada en la tabla 1.1, pero por lo general lo que se tiene es una atmósfera contaminada por polvo y otros componentes todos dañinos a la salud.

Tabla 1.1 Concentración de componentes en un aire puro

COMPONENTE	FORMULA	PRESENCIA EN LA ATMOSFERA
Nitrógeno	N ₂	78.084 ± 0.004 % ¹
Oxígeno	O ₂	20.948 ± 0.002 %
Argón	Ar	0.934 ± 0.001 %
Vapor de agua	H ₂ O	Variable (% ó ppm)
Dióxido de Carbono	CO ₂	325 ppm
Neón	Ne	18 ppm
Helio	He	5 ppm
Kriptón	Kr	1 ppm
Xenón	Xe	0.08 ppm
Metano	CH ₄	2 ppm
Hidrógeno	H ₂	0.5 ppm
Oxido nitroso	N ₂ O	0.3 ppm
Monóxido de Carbono	CO	0.05 - 0.2 ppm
Ozono	O ₃	0.02 - 10 ppm
Amoniaco	NH ₃	4 ppb
Dióxido de Nitrógeno	NO ₂	1 ppb
Dióxido de Azufre	SO ₂	1 ppb
Sulfuro de Hidrógeno	H ₂ S	0.05 ppb

A continuación mostramos un esquema en el que se refleja la manera directa e indirecta en que los contaminantes dispersos en el aire afectan a los sistemas ecológicos.

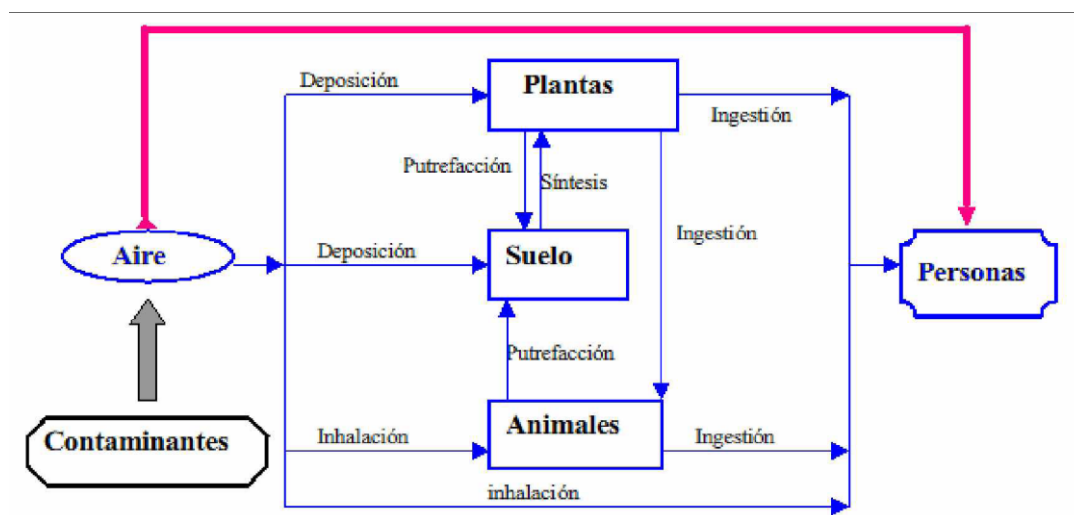


Figura 1.2 Ciclo en el que se señala la afectación de los contaminantes en el aire.

- Se afecta la flora y la fauna en todo el radio de acción en la que se depositan estos materiales particulado (polvos), vemos que las plantas se secan o su

follaje adquiere un color gris terroso, por deposición de los contaminantes, los que incluyen polvos, cenizas, hidrocarburos sin quemar, etc., e impiden que las plantas realicen la fotosíntesis, imprescindible para su existencia. Se detecta la influencia de las llamadas lluvias ácidas, donde su follaje se ve como quemado, plegado y reducido de tamaño.

- Algo similar ha de estar ocurriendo en la flora y fauna marina, de las Bahías de Levisa y Arroyo Blanco las que por lo general por las noches al soplar el terral se cubren de una fina nata de color negra en su gran extensión la que se mantiene en suspensión hasta bien entrada la mañana, cuando comienza a soplar la brisa y por el accionar de las olas parte de esta se disuelve y otra parte no significativa alcanza a nuestras costas lo que se ve sobre la arena tornándola de un color de gris a negro y en los manglares.
- La ingestión de las plantas contaminadas y la inhalación del aire contaminado, por los animales existentes dentro de este radio de acción, afectan directamente a las personas.

En los bosques se han observado daños directos originados sobre todo por esos depósitos de partículas que se pueden convertir en ácidas posteriormente, pero también por las nieblas o lluvias con pH muy bajo. Además, parte de los efectos de lo que se ha llamado el declive de los bosques, se debe muy posiblemente a la influencia de las lluvias ácidas sobre los suelos, que quedan empobrecidos de elementos minerales básicos, como potasio, magnesio y calcio.

En lo que respecta a las bahías más cercanas Levisa, Arroyo Blanco si bien se carece de un estudio científico que fundamente lo antes planteado, si se puede decir sin equívoco que la reducción de la flora y fauna marina se debe en gran proporción a la deposición de los contaminantes sobre su superficie, ello es sin contar el gran daño ocasionado por los barcos pesqueros de arrastre que en ocasiones realizan su función de pesca dentro de la bahía.

Considerando todo lo anterior es por lo que se propone como estrategia hacer en primer lugar un análisis crítico de todos los antecedentes que han conducido a elaborar esta propuesta la que es considerada económica y factible de ejecución.

Antes de continuar el tema se establecen las siguientes definiciones como necesarias.

Contaminación del aire: es necesario señalar que la contaminación del aire es definida como cualquier condición atmosférica, en el que las sustancias presentes producen un efecto adverso medible en la salud del ser humano, de los animales y vegetales, o un daño físico en los materiales.

- Los niveles o categorías de la contaminación de la atmósfera (Calidad del aire) son categorizados por las concentración de las sustancias contaminantes en espacio y tiempo, dados en mg/m^3 a temperatura y presión normal (TPN).
- Aire puro: es el que está libre de contaminantes y tiene la composición antes señalada.
- Material particulado: incluye pequeñas partículas líquidas y sólidas, las que en ocasiones son referidas como humo, polvo, vapores o niebla en función del diámetro. Las partículas PM10 ($10\ \mu\text{m}$) Y PM2,5 ($2,5\ \mu\text{m}$) están reconocidas como partículas críticas, las PM10 a las que se les llamada partículas “Tóricas” su diámetro es menor de $10\ \mu\text{m}$ y pueden penetrar hasta las vías respiratoria bajas, las partículas menores de $2,5\ \mu\text{m}$, pueden penetrar hasta la zonas de intercambio de gases del pulmón y las partículas ultrafinas menores de $100\ \mu\text{m}$ pueden llegar a pasar al torrente circulatorio.

Las partículas en función de su diámetro se clasifican como

Polvo fino $< 100\ \mu\text{m}$

Polvo grueso..... $> 100\ \mu\text{m}$

Vapores..... 0.001 a $1\ \mu\text{m}$

Niebla..... 0.1 a $10\ \mu\text{m}$

1.3 Normativas nacionales e internacionales

La contaminación atmosférica se ha convertido en una cuestión de preocupación mundial, particularmente en algunas de las ciudades más grandes del mundo. Esta contaminación tiene muchos y variados componentes que afectan al medio ambiente y, de manera directa o indirecta, a la salud de las personas. Los principales componentes incluyen dióxido de azufre, partículas, monóxido de carbono, compuestos de hidrocarburos reactivos, óxidos de nitrógeno, ozono y plomo.

1.3.1 Partículas en suspensión en el aire (APM)

Las APM se pueden definir como una mezcla de partículas sólidas y líquidas suspendidas en un medio gaseoso (el aire). En general, la frecuencia de tamaño de las partículas tiene una distribución, en la que los dos principales valores máximos se sitúan aproximadamente en 0,2 micrómetros y 10 micrómetros. Los tamaños de las partículas también pueden clasificarse según las fuentes de origen. Las partículas menores de 2 micrómetros pueden atribuirse fundamentalmente a los procesos de combustión (actividad antropogénica) o a la transformación del gas en partículas. Las partículas mayores de 2 micrómetros se originan, en su mayor parte, en los procesos industriales (por ejemplo, la erosión de los suelos o en la combustión incompleta).

¿Cuál es la razón para querer estudiar las partículas en suspensión en el aire? Una de las razones principales tiene que ver con sus efectos sobre la salud. Los problemas sanitarios asociados a las APM comienzan a ser motivo de gran preocupación en muchos países y sobre todo ahora en los países en desarrollo, donde en algunas ciudades muy pobladas, el total de partículas en suspensión (TSP) a menudo sobrepasa con creces los límites indicativos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Otros estándares de calidad del aire que tienen igual nivel de aceptación en la comunidad internacional son los dictados por la Agencia de Protección del Ambiente de Estados Unidos, USEPA por sus siglas en inglés. Los valores de la OMS y de USEPA han servido como base a muchos gobiernos para fijar sus respectivos estándares de calidad del aire, estableciendo así parte de sus metas en política ambiental, aunque dicho país no se compromete a

eliminar la carga contaminantes de sus industrias, ejemplo de ello al no rubricar el Protocolo de Kyoto por parte de su mandatario, y dejar de esta forma que sus empresas e industrias degraden de forma constantes y con creces la contaminación atmosférica a nivel mundial.

En cambio, la Estrategia Ambiental Nacional, como concepción integral para el logro del desarrollo sostenible del país, constituye la base sobre la cual se proyectarán las acciones en el campo de la obtención de la Producción Más Limpia, por lo que deberá incluir explícitamente este concepto y promover su aplicación sistemática.

Por otra parte, las Estrategias Sectoriales y Territoriales, en las cuales se identifican los principales problemas ambientales y establecen los planes y programas de acción en cada sector de la economía y territorio, respectivamente, deberán introducir este nuevo enfoque como vía para disminuir las cargas contaminantes emitidas al medio ambiente y mejorar la eficiencia económica de las empresas, según el CITMA en Cuba.

El término de Producción Más Limpia nace en 1989 en el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en 1992 comienza a implementarse como política y programa de PML a nivel internacional, como respuesta a los compromisos que se establecieron en la Cumbre de Río.

Las concentraciones máximas a la atmósfera permisibles internacionalmente son las reportadas por “Buchman, M.F., 2008. NOAA Screening Quich Reference Table, NOAA ORR Report 08-1 Seattle WA, Office of Response and Restorations Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34 pages”.

En Cuba, teniendo en cuenta que la atmósfera, de acuerdo a lo establecido por la ley No. 81 “Ley de medio Ambiente”, es catalogada como una esfera específica de protección del medio ambiente, las empresas tienen la obligación de proteger la calidad del aire. En el caso particular del país, **no existe una normativa que regule las emisiones hacia la atmósfera de gases contaminantes**, no obstante se ha comenzado a trabajar sobre la base de llevar un control de las mismas.

Muestra de ello lo es la creación de la norma cubana NC 242: 2005 para realizar inventarios de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, así como gases de

efecto invernadero, como una muestra de la preocupación del país por la protección del medio ambiente atmosférico.

Además de insertar dentro del propio sistema de derecho, normas jurídicas de carácter ambiental así como la creación de un marco institucional que responda, y haga cumplir eficazmente lo dispuesto por estas instituciones como el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

La situación problemática en el territorio del Municipio Mayarí, especialmente Nicaro, con respecto a la emisión de gases contaminantes con exceso de polvos, consiste en que no se tiene disponible un inventario de emisiones documentado que permita a los directivos un control más eficiente de estos contaminantes, se plantea por parte de ellos la necesidad de investigación.

Por tanto, la existencia del Manual de Recursos Técnicos de la Referencia Bibliográfica para la evaluación del riesgo para tóxicos del aire (Air Toxics Risk Assessment Reference Library Technical Resource Manual, 2004) se presentan los programas y herramientas técnicas que la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA) que se usa para evaluar las consecuencias de los químicos que son liberados hacia la atmósfera por diferentes tipos de fuentes y cuál es el efecto potencial sobre las personas y el medio ambiente.

En la tabla 1.2 se observan las concentraciones máximas admisibles de algunos metales pesados contaminantes del aire para zonas habitables, especialmente el níquel.

Tabla 1.2 Concentraciones máximas admisibles de algunos metales pesados contaminantes del aire (NC 93-02-202)

Contaminantes	Concentraciones máximas admisibles (mg/m³)
Manganeso	0,01
Mercurio	0,0003
Níquel	0,001
Plomo	0,0003

La Norma Cubana NC: 242 2005 aporta datos tecnológicos que se han de tener en cuenta para la realización de un inventario de emisiones de contaminantes a la atmósfera generado por fuentes puntuales industriales, teniendo además por objetivo habilitar a los especialistas y técnicos de una herramienta práctica para la obtención de los datos tecnológicos necesarios para la realización de un inventario de contaminantes a la atmósfera.

No obstante a través del Sistema Nacional de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica (SINVCA) se han evaluado las categorías correspondientes del **Índice de Calidad del Aire (ICA)** para ello, teniendo los sitios de muestreo específicos, para ello se cuenta con la Norma Cubana 111-2002 con título:

1.3.2 Calidad del aire. Vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos.

De aquí que se han trazado programas de monitoreo periódicos sistemáticos, con la evaluación de la alteración de la calidad del aire en los asentamientos humanos, a partir de las condiciones higiénicas del aire que se definen por las concentraciones máximas admisibles (**Cma**) de las sustancias contaminantes para un periodo extenso de 24 horas o para un periodo corto de 20 minutos definidos en la NC 39: 1999. **Calidad del aire.** Requisitos higiénico – sanitarios, en caso de situaciones difíciles, la Defensa Civil declarará lo que corresponda de acuerdo con lo que establece la Ley.

La situación de la calidad o grado de contaminación del aire en los asentamientos humanos se evalúa mediante el **ICA**, el cual incluye una escala de seis categorías:

1) **Buena**; 2) **Aceptable**; 3) **Deficiente**; 4) **Mala**; 5) **Pésima**; 6) **Crítica**

Tales categorías se comentan en la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Índice de Calidad del Aire (ICA) (NC-93-02-202)

Categoría	Comentarios
Buena	No sobrepasa el 79 % del valor de la Cma prescrito en la NC. 39. Óptima calidad sanitaria del aire. Supuesta protección de toda la población (aunque no puede asegurarse que no sobrepase el umbral de respuesta de efectos adversos en individuos aislados).
Aceptable	No supera el 99 % de la Cma. Comienza el deterioro de la calidad del aire. Posible aparición de efectos leves en individuos o grupos de alta susceptibilidad (variabilidad individual de umbral de respuesta a los efectos) de muy difícil detección aún por investigaciones.
Deficiente	Sobrepasa entre 100 - 199 % el valor de la Cma prescrito en la NC 39. Ligero incremento en la frecuencia y severidad de los efectos adversos agudos y crónicos en la población general y principalmente en personas con enfermedades cardiovasculares, respiratorias y alérgicas y en otras de elevada susceptibilidad, solo detectables mediante investigaciones muy específicas y sensibles.
Mala	Supera entre 2 y 3 veces (200 – 300 %) el valor de la Cma. Aumento de la frecuencia y gravedad de los efectos adversos en grupos de alta susceptibilidad y en la población general, ya medibles mediante investigaciones específicas a escala individual y ecológica, basadas en registros morbilidad. Da lugar a una SITUACIÓN DE ATENCIÓN .
Pésima	Supera entre 3 y 5 veces el valor de la Cma . En dependencia del incremento de la concentración del contaminante y el tiempo de exposición continua el aumento de la frecuencia y gravedad de efectos adversos en los grupos de alta susceptibilidad y en la población general. Da lugar a una SITUACIÓN DE ALERTA .
Crítica	Se supera el límite de 5 veces la Cma , dando lugar a un incremento aún mayor del riesgo o probabilidad de ocurrencia de los efectos adversos sobre la salud de la población general y en grupos de riesgo, que se traduce en un evidente incremento agudo de la morbilidad y mortalidad que sobrecarga los servicios asistenciales;

da lugar a una **SITUACIÓN DE EMERGENCIA AMBIENTAL.**

Cuando la Categoría de la Calidad del aire es valorada de forma general como **Mala**, como se demostró en las investigaciones de [Izaguirre et al, 2004, Cuesta et al, 2004 y Reyes et al 2011] para zonas habitables, es por tanto necesario intensificar las acciones de vigilancia y control de las fuentes emisoras y de monitoreo ambiental. En la tabla 1.4 se presentan los criterios de calidad del aire, con respecto al polvo.

Tabla 1.4 Criterio de la calidad del aire para valores de polvo en suspensión según NC39:1999.

Parámetro	Calidad aceptable	Límite inferior de calidad pésima	Límite inferior de Calidad critica
<i>Partículas en suspensión totales (PST-mg/m³)(Diario)</i>	0,3	0,3	0,5

Teniendo en cuenta que estas industrias son productoras de níquel y cobalto a partir de los óxidos polimetálicos que componen las lateritas, para ello hay que tomar acciones encaminadas a no sobrepasar el límite admisible en dicho entorno, según la NC 39:1999 que es una Enmienda de la NC 93-2- 202, del 1987.

1.4 Flujo tecnológico desde los depósitos a los secaderos rotatorios.

El flujo tecnológico en esta planta tiene su inicio con el arribo del mineral mediante vagones de ferrocarril con volteo lateral (como se muestra en la figura 1.3) a uno de los depósitos, sea el exterior o el interior, puntos por los cuales tienen lugar las primeras operaciones tecnológicas.

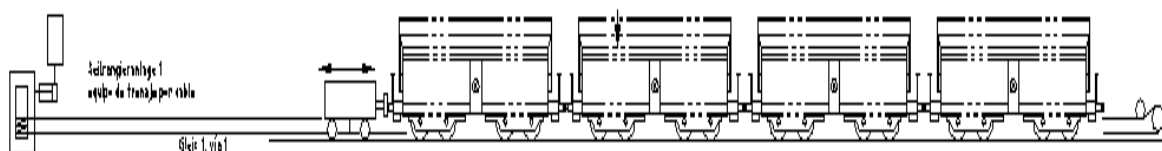


Figura 1.3. Transporte de mineral mediante vagones de ferrocarril con volteo lateral

El mineral a procesar es una mezcla natural de mineral limonítico y serpentinito estando este último formado por fragmentos mayores, de piedras más duras, la mezcla tiene en condiciones normales las siguientes características y composición:

Humedad	26 a 36 %
Peso volumétrico	1,3 g / cm ³
Densidad	2,4 g / cm ³
Ni	1,10 a 1,20; media 1,14
Co	0,07 a 0,11; media 0,09
Fe	35,5 a 42,0; media 39,2
SiO ₂	10,1 a 20,2; media 12.1
MgO	5,0 a 13, 0; media 7,0
Nº de mineral (Ni*Fe)/ (SiO ₂ *MgO)	0,53

El mineral que es extraído desde diferentes yacimientos a cielo abierto, por potentes excavadoras dotadas de cubos de arrastre, el que posteriormente es depositado en camiones de volteo de 40 t de capacidad, los que después de recorrer cierta distancia alimentan un conjunto de transportadores de bandas y estos últimos a los vagones que posteriormente forman parte de la hilera de vagones (convoy) que en número de 12 a 14 son trasladados hasta las instalaciones tecnológicas de la fábrica, para su procesamiento.

Descargado el mineral en el depósitos exterior es sometido a una de las primeras operación tecnológica, consistente en el remonte a la cima de la pila que se crea hacia el centro del depósito, con ella se logran tres objetivos fundamentales.

- Una mayor homogeneización de los minerales a alimentar al sistema.
- Mayor posibilidades de secado del mineral dado a que con su dispersión de logra el mejor aprovechamiento de los rayos solares para el secado, antes de ser alimentado al sistema.
- Desplazar del viradero el mineral recién recibido a fin de facilitar la continuidad de la operación

Para esta operación se utiliza de forma permanente una de las cuatro grúas de puente existentes mientras que dos alimentan el sistema y una cuarta grúa se mantiene disponible o en mantenimiento. Las grúas están dotadas de pesadas cucharas de mandíbulas de 4.5 m³ de capacidad.

A continuación el mineral es llevado desde la pila homogenizada hasta la tolva superior de los Alimentadores Móviles (AM-1, AM-2, AM-3), al ser descargado en estos el mineral tiene que atravesar una rejilla estática de malla cuadrada de 300 x 300 mm la que impide que fragmento de mineral serpentinito de dimensiones mayores penetren a la tolva del alimentador.

La mezcla de mineral limonítico y serpentínico que alcanza pasar la rejilla clasificadora, una vez dentro de la tolva, es dosificado mediante un transportador de bandejas hasta un transportador de bandas, el que está montado sobre una estructura o carro desplazable, el que permite la alimentación a uno de los dos sistemas exteriores de transportadoras de bandas (CA-1, CB-1), estos últimos se encuentran ubicados en un plano perpendicular a los alimentadores móviles.

Todo el sistema de transportación está formado por bandas de 36" de ancho (915 mm)

Los transportadores de bandas CA-1, CB-1 son del tipo horizontal inclinados, estos descargan a las trituradoras cilíndricas de doble maza dentadas TA y TB, las que trituran las partículas de mineral serpentínico a menos de 4" (-100 mm).

Pasada la primera transportación el mineral cae sobre los transportadores de bandas inclinados CA-2, CB-2 y sobre los transportadores horizontales de bandas CA-3, CB-3.

La alimentación a la tolva de los siete secaderos se hace desde estos últimos transportadores, mediante desviadores laterales, ubicados a un mismo lado de la banda y a 45°.

La carga alimentada a la tolva de los secaderos es transportada mediante transportadores de bandejas (desde AS-1 hasta AS-7) hasta el conducto de alimentación del secadero rotatorio.

En el interior del secadero el mineral alimentado experimenta un proceso de secado acción que es realizada por el flujo calórico suministrado desde la cámara de combustión, el volumen de gases es arrastrado por el ventilador de tiro colocado al final del secadero, pasando primero por los ciclones o colector primario y las partículas finas no recuperadas pasan al filtro de mangas, (ver figura1.4).

Cuando el filtro de mangas, por alguna causa imprevista, tiene que salir de línea, acción que ocurre con cierta frecuencia, el flujo generado en cada secadero es expulsado a la atmósfera y es aquí donde resulta útil la propuesta de este proyecto, es decir, el montaje de un sistema con captadores húmedos turbulentos a fin de reducir prácticamente a cero la emisión de polvo a la atmósfera.

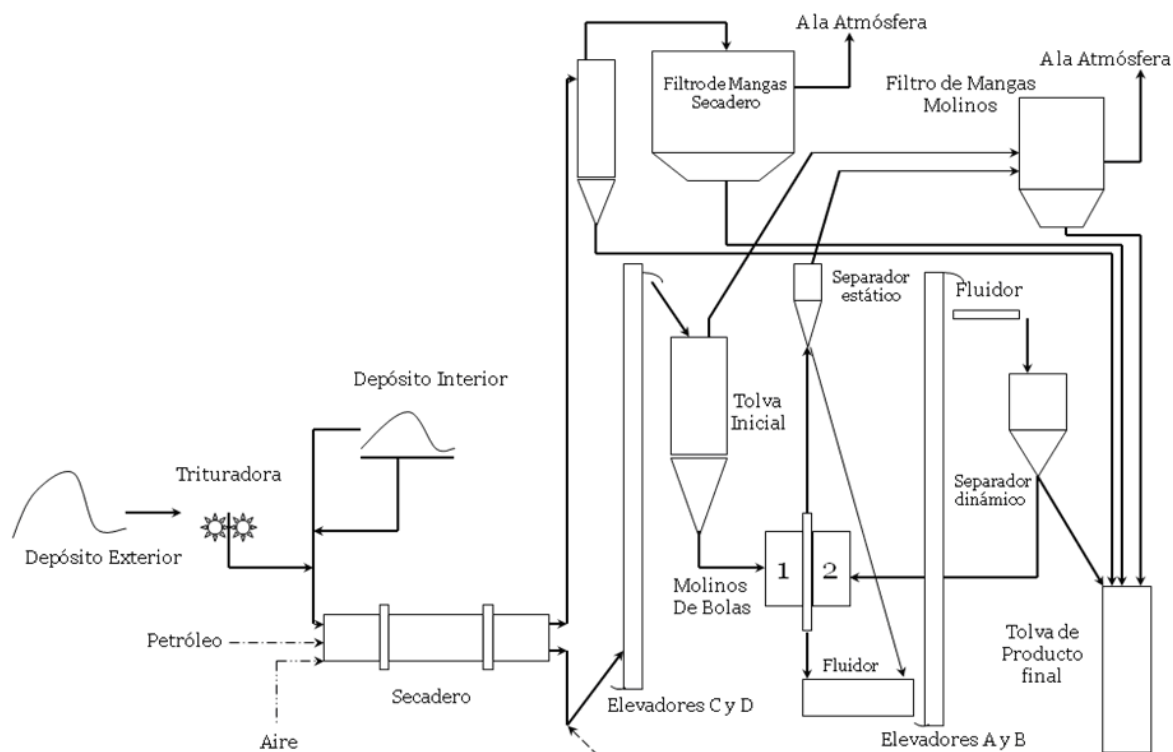


Figura 1.4. Flujo Tecnológico de la Planta de Preparación de Mineral

1.5 Secaderos rotat6rios

En el proceso de secado se reduce la humedad de aproximadamente 30 - 36 % hasta 4 - 5 % en la descarga.

El secadero es un cuerpo cilíndrico construido en planchas de 25,4 mm de espesor, con una longitud máxima del cuerpo rotatorio de 130' (39 624 mm), con una inclinación de 1/2 " en 12 " soportado sobre cuatro rodillos cilíndricos y accionado por la correspondiente transmisión.

El secadero rotatorio con su sistema de limpieza de gases constituye el objeto de estudio y es conveniente explicar, aunque sea de forma sintetizada, los elementos que lo forman y sus funciones. Ver la figura 1.5.

De las partes fundamentales, por su relación con el trabajo, solamente se hará mención de las últimas partes.

- Alimentador de estera
- Esquema cinemática de transmisión.
- Cuerpo cilíndrico.
- Cámara de combustión.
- Sistema primario de limpieza de gases.

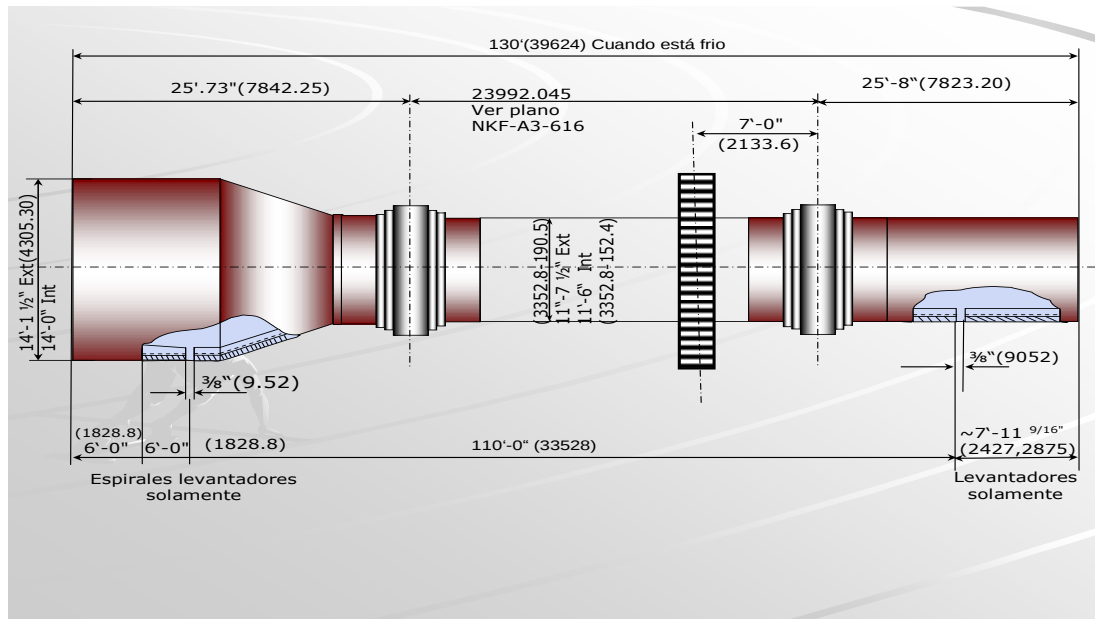


Figura 1.5. Cuerpo cilíndrico del horno rotatorio de secado de mineral con posición horizontal.

Para el secado del mineral con alta humedad procedente de los yacimientos a cielo abierto, se emplean los hornos rotatorios, cuyos cuerpos cilíndricos están contruidos con planchas de acero de 25 mm de espesor, soportados horizontalmente sobre cuatro rodillos, que tiene adosado el esquema cinemático para el accionamiento.

El cuerpo cilíndrico es de forma irregular la inicial de diámetro 4 305 mm y una segunda de diámetro 3 362.80 mm, las dos hacen una longitud total de 39 624 mm. En estado frio.

Interiormente el cuerpo dispone de un conjunto de estrellas y levantadores que facilitan el movimiento en forma espiral a todo lo largo del secadero.

La energía calórica necesaria para el secado del mineral es suministrada por una cámara de combustión instalada en la parte frontal del secadero.

Las características técnicas del secadero son.

Tonelaje: (50-60) t

Temperatura en la cámara: (1300-1340) °C

Temperatura gases de salida: (76-80) °C

Humedad de entrada del mineral: (32-34) %

Temperatura de salida del mineral: (4-6) °C

Temperatura en la cámara: (1300-1340) °C

Tiempo de retención: (45-50) min.

Consumo específico de petróleo: (28-29) L/t

Temperatura del petróleo:(95-120) °C

Presión de petróleo: (10)-30 kg/cm²

Tamaño máximo fragmentado: -100 m

1.5.1 Sistema primario de colección de polvo (Ciclón).

En la figura 1.6 están representados esquemáticamente el tipo de ciclones que son utilizados como elementos de colección primaria, ellos son dos ciclones que trabajan en paralelo por los cuales pasa la mitad del flujo por cada uno, acción que es favorecida por el tiro forzado del ventilador.

Son dos ciclones sin empaque, y su funcionamiento es el de todos los ciclones que tienen como principio el empleo de la fuerza centrífuga que obliga a las partículas a pegarse a las paredes y de esta descender hasta el cono inferior de donde son evacuadas por el cono inferior.

La eficiencia de estos ciclones está en el orden de 85 a 90 %

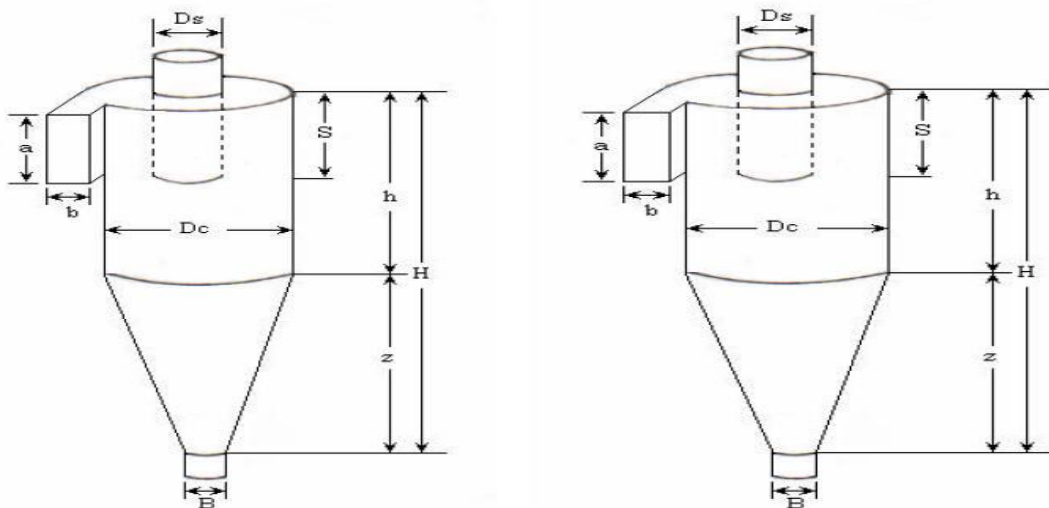


Figura 1.6. Sistema primario de limpieza de gases de los ciclones

A través de estos ciclones succiona el ventilador de tiro el que tiene las características que se muestran en la tabla 1.5.

1.5.2 Ventiladores de tiro forzado

Tabla 1.5. Características técnicas de los ventiladores de tiro de los secaderos (VTS)

VTS No	DATOS DEL FABRICANTE						
	Ventilador NYO A 1594 Ventilador Norblo 120					Electromotor HKF A 1003-21	
	Velocidad Rpm	Flujo C.F.M	Flujo m ³ /min	Presión	Potencia al freno BHP	Velocidad Rpm	Potencia
1 al 4	497	102 000	2888,32	8.5"	150/216	1200	200 HP.
DATOS ACTUALES							
	588	---	---	---	---	1800	160 kw
	Ventilador NYO A3- 1115; NYO A - 1594						
5 al 7	497	106 000	3001.59	8.5"	150/216	1200	160 kw

Esta información es tomada de la carpeta del fabricante norteamericano, estos son los ventiladores que succionan de los dos ciclones en paralelo que están colocados a la salida de los secaderos.

Conclusiones parciales

- ✓ En el capítulo realizamos un análisis de la situación existente, la que nos permite optar por una solución factible para su implementación dado su bajo costo y a la alta eficiencia que se obtiene en los lavadores huecos a nivel mundial.

CAPÍTULO 2.

MATERIALES Y MÉTODOS

En casi todas las etapas de los procesos de producción de metales no ferrosos y raros van acompañadas de la formación de polvo que sale con los gases tecnológicos de ventilación. A estos gases se les une la formación de impurezas los óxidos de azufre (anhídrido sulfúrico y sulfuroso), hidrógeno, cloro, flúor y algunos otros componentes de la materia prima.

La cantidad de polvo formado –el llamado arrastre o conversión del metal en polvo – depende del proceso metalúrgico, intensidad, estructura del equipo, características físico-químicas de la carga (dimensiones, resistencia, contenido de metales y componentes fáciles de sublimar, etc.) y otros factores.

Con mayor intensidad el polvo se forma durante los procesos metalúrgicos nuevos tales como la calcinación y fusión de concentrados en capa hirviendo y en suspensión, procesos de sublimación, etc.

Para que se tenga una idea al respecto diremos que el arrastre o conversión de metal en polvo en el proceso de secado es algo inevitable, es por ello que se hace necesario la instalación de un equipamiento que tenga como función la reincorporación de parte de ese polvo al proceso acción que en este caso específico ocurre de manera normal, la anomalía ocurre en los casos en que son sacados de línea estos equipos, vertiéndose en múltiples ocasiones un alto volumen de polvo al medio ambiente, con su daño correspondiente, volumen que en el proyecto se propone atenuar su efecto perjudicial aunque el mismo no sea reincorporado al proceso como sería lo ideal.

Lo que se pretende en el proyecto es eliminar las afectaciones del polvo al ser emitido a la atmósfera, la reincorporación en este caso no es posible dado a que la recuperación se realiza por vía húmeda.

El efecto económico se logra evitando el perjuicio causado por los polvos y gases, que se botan a la atmósfera, a la naturaleza (bosques, áreas verdes), a la agricultura, construcciones, a la fauna y, en alto grado a la salud humana.

La magnitud de los gastos para la purificación de gases depende de muchos factores tecnológicos y de la construcción del equipamiento, así como al proceso metalúrgico al cual se aplica dicha técnica, del consumo de energía eléctrica y de materiales, etc., todo lo anterior resultaría insignificante si logramos aunque sea como único objetivo la protección de la salud los habitantes de las zonas pobladas de los alrededores y los trabajadores que día a día laboran en las instalaciones fabriles siendo este el recurso más valioso de la sociedad que se construye.

El problema radica básicamente en que el polvo que se emite al medio ambiente además de afectar a la flora y la fauna de las áreas circundante a dichas instalaciones fabriles, tiene incidencia en la salud de la población de todas las edades, afectan a los trabajadores, ocasionándoles afectaciones en muchos casos irreversibles en el sistema a respiratorio, nervioso, digestivo, etc., se aceleran los procesos corrosivos y unido a ello se producen grandes pérdidas de material semiprocesado que puede ser reincorporado nuevamente al proceso tecnológico, lo que está en dependencia del procedimiento empleado en su captación, de aquí que procedamos a un análisis de todos los equipos que en ello intervienen e incluyendo las posibilidades de solución a la problemática planteada.

2.1 Elementos a incorporar en el nuevo sistema

En el sistema estudiado se analizan todos los equipos utilizados en la nueva instalación. A continuación se dan algunos rasgos característicos de cada uno.

2.1.1 Tubo Venturi

Este sistema usa un flujo líquido para remover las partículas sólidas. En ellos el gas resultante de la combustión, cargado con material particulado pasa por un tubo corto

con extremos anchos y una sección estrecha. Esta constricción hace que el flujo de gas se acelere cuando aumenta la presión. El flujo de gas recibe un rocío de agua antes o durante la constricción en el tubo. La diferencia de velocidad y presión que resulta de la constricción hace que las partículas y el agua se mezclen y combinen. La reducción de la velocidad en la sección expandida del cuello permite que las gotas de agua con partículas caigan del flujo de gas. Los lavadores Venturi pueden alcanzar 99 por ciento de eficiencia en la remoción de partículas pequeñas.

Se conoce que una de las desventajas de este dispositivo es la producción de aguas residuales pero como la misma solo será utilizada en caso de emergencia cuando se saquen de línea los secaderos por problemas en el filtro de mangas, esta resulta insignificante ya que el agua puede ser filtrada y recirculada para lograr su máxima utilización.

La eliminación de la materia suspendida se realiza mediante lavadores dinámicos de rocío. En este sistema, el gas se fuerza a través de la garganta de un Venturi, en la que se mezcla con rocío de agua de alta presión. Existen informes de una limpieza de entre 0,1 a 0,3 g/pie³; se utilizan de manera extensa para limpiar aire y gases de desecho.

Velocidad y sección en la garganta del Venturi. La garganta es el lugar donde se produce el estrechamiento del separador de venturi, aumentando la velocidad del gas y la turbulencia, que favorecen el mezclado. La divergencia vuelve a disminuir la velocidad, y se diseña de manera que se recupere la mayor cantidad de energía posible. Es en este lugar donde se produce la mayor pérdida de presión, por lo que aunque la mayor velocidad favorece la máxima eliminación de partículas, existen unas limitaciones en su diseño, como son la velocidad del gas requerida en el eliminador de rocío o la pérdida de presión máxima admisible por los costos de operación.

El principio de funcionamiento de los captadores de polvo rápido (CPR) es el siguiente: el agua introducida en la corriente de gas con polvo que fluye a una velocidad alta 70 a 100 y más m/seg. Se desintegra en pequeñas gotas. La energía necesaria para la desintegración del líquido se alimenta del flujo de gas. El alto grado

de turbulencia de gas contribuye a la desintegración del líquido y a los impactos entre las gotas y partículas de polvo. Las gotas de líquido relativamente grandes junto con las partículas de polvo se captan fácilmente en los captadores por vía húmeda (hidrociclones), el esquema se muestra en la figura 2.1.

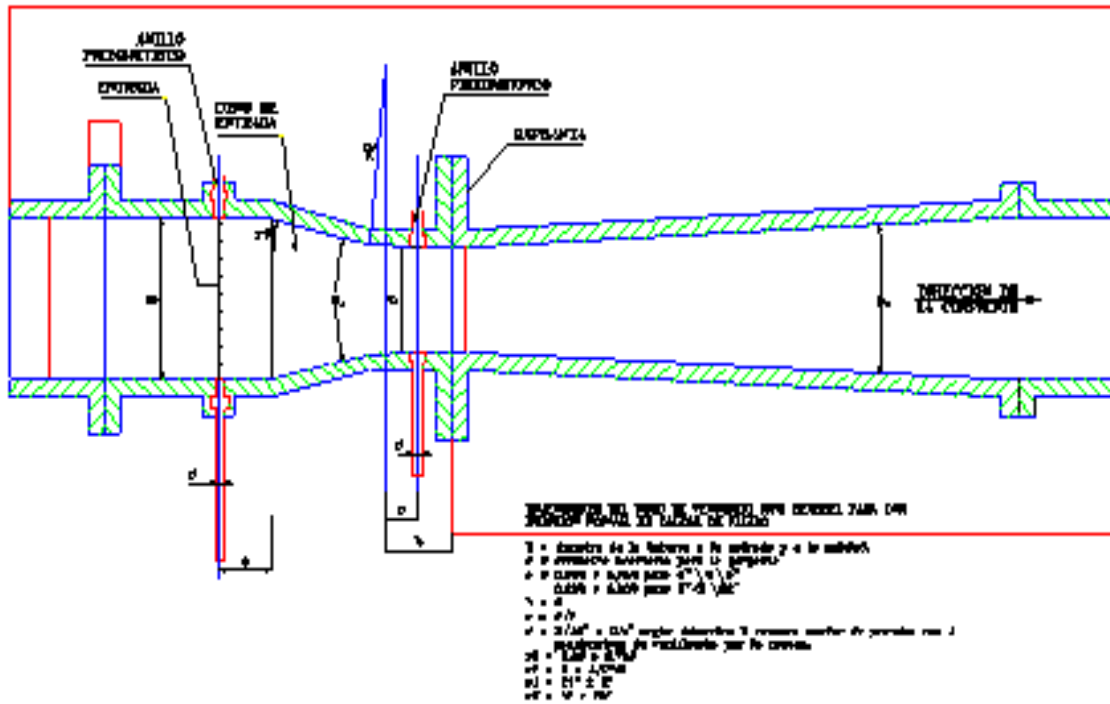


Figura 2.1. Tubo Venturi (Lavador de Gas)

Segundo equipo que se propone adicionar al sistema de limpieza de los gases.

El lavador más eficiente de todos, soporta variaciones en el flujo y la energía y no presenta problemas de interferencia fase húmeda/seca

Los hidrociclones (lavadores de gases) son empleados extensamente en aplicaciones donde se requiere la captura de partículas submicrónicas así como de altas eficiencias de colección. El diseño vertical permite que el agua que se le suministra en su parte superior se distribuya de manera uniforme sin que se aglomere el material colectado y elimina los problemas de abrasión.

Los lodos pueden concentrarse hasta en un 10 % en peso con el empleo de una bomba de recirculación. De este modo, la cantidad de agua a filtrar es menor.

Estos hidrociclones suelen estar acompañados de un tubo Venturi, colocado en posición vertical u horizontal; en el proyecto proponemos la colocación en posición horizontal.

La entrada al hidrociclón es tangencial en el nivel superior o inferior a la parte cilíndrica del cuerpo, se propone la ubicación en posición superior.

El flujo de gas con polvo llega por la tubuladura de entrada a la parte cilíndrica del cuerpo con una velocidad de unos 20 m/s, pero como la captación se realiza por vía húmeda esta velocidad puede ser aun mucho mayor.

Los hidrociclones son colectores centrífugos en los que la entrada de aire es tangencial al cuerpo del cilindro, de esta manera se fuerza a las partículas acompañadas dentro de la niebla de agua a dirigirse hacia las paredes, donde perderán su energía y caerán a un colector o tolva situado en la parte inferior del cuerpo.

2.2 Funcionamiento del Hidrociclón

En un hidrociclón el gas entra en la cámara superior tangencialmente y desciende en espirales hasta el ápice de la sección cónica con ayuda de una niebla de agua la que es suministrada mediante spray instalados dentro del cuerpo cilíndrico; luego asciende en un segundo espiral, con diámetro más pequeño, y sale por la parte superior a través de un ducto vertical centrado. Los sólidos se mueven radialmente hacia las paredes, se deslizan por las paredes, y son recogidos en la parte inferior.

El diseño apropiado de la sección cónica del hidrociclón obliga al cambio de dirección del vértice descendente, el vértice ascendente tiene un radio menor, lo que aumenta las velocidades tangenciales; en el cono se presenta la mayor colección de partículas, especialmente de las partículas pequeñas al reducirse el radio de giro como se muestra en la figura 2.2.

El hidrociclón funciona con los mismos principios del ciclón simple, pero con la diferencia de que al hidrociclón se le adiciona agua a presión mediante un conjunto de spray.

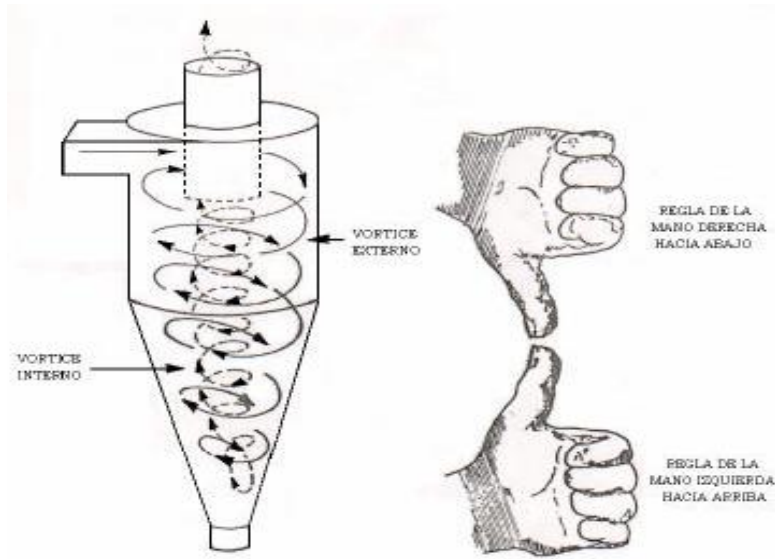


Figura 2.2. Esquema de trabajo del ciclón lavador (Hidrociclón)

Aprovechamiento del agua. El agua se mantiene en un circuito cerrado, de manera que es mínimo el volumen a reponer por efecto del arrastre. Otra de las posibilidades que podemos valorar es que por la cercanía que tenemos del mar, esta puede ser suministrada desde el mismo.

Tamaño de la gota. En principio a menor tamaño de gota, se consigue una mayor eficiencia de recolección, pero ocurre que a un determinado tamaño de gota límite, ésta es resuspendida con el efluente gaseoso, reduciéndose la velocidad relativa entre líquido y partícula y por tanto reduciéndose la eficiencia de recolección, además en caso de que el contacto sea a contracorriente, las gotas con las partículas pueden ser arrastradas con el efluente gaseoso.

Tiempo de residencia. El mayor tiempo de contacto entre el líquido y el material particulado del efluente gaseoso contaminado resulta en una mayor eficiencia de recolección. En los separadores de Venturi se estima que la longitud de la garganta debe ser tres veces el diámetro, y la longitud de la divergencia cuatro veces el diámetro, de esta manera se aumenta la eficiencia al aumentar el tiempo de contacto.

2.3 Principios de Operación de todo el conjunto

Los gases que entran en el lavador son dirigidos hacia un Venturi inundado con líquido a través de un ducto seco, mientras que el líquido es introducido en una cámara de distribución cubierta, como resultado no existe interferencia fase húmedo/seco la cual podría provocar la aglomeración del polvo. El ducto de entrada ayuda a direccionar los gases a la garganta del Venturi que se encuentra completamente inundada y el líquido actúa como una capa protectora que elimina el choque térmico, minimiza la abrasión debida a las partículas de polvo.

A medida que el líquido atraviesa por la garganta, debido la alta velocidad del gas fragmenta el líquido creando una densa niebla de gotas muy finas.

La niebla captura las partículas a través del impacto, Intercepción o difusión browniana. Los gases y la niebla generada entran en una cámara de separación donde el polvo adherido a las gotas de agua es separado del gas y se escurre hasta la parte inferior del tanque. El gas limpio sale del lavador hacia un ventilador o chimenea.

El líquido usado en el lavado es recirculado con un by-pass donde una pequeña cantidad de lodos pasa al tanque se sedimenta, a un filtro de lodos o a otro dispositivo antes de disponer del líquido.

A los lavadores de gases sin empaque debe suministrarse gran volumen de líquido y este tiene que ser desintegrado en gotas de 0.5 a 2 mm de diámetro. Las gotas mas menudas se arrastran con mayor facilidad y en este caso el coeficiente de captación de polvo es más bajo. Si las gotas son mayores disminuye la superficie de contacto entre el gas y el líquido. Los lavadores de gas hueco rápidos son ventajosos cuando hay que purificar grandes volúmenes de gas de aquí que esta fue la opción que se tomó ya que hay que purificar $Q = 102\ 000$ CFM (PV) y $Q = 106\ 000$ CFM (PN), y como es una variante opcional que solo funcionara cuando existan afectaciones en el electrofiltro es por lo que se toma la variante de empleo de hidrociclones huecos sin empaque. Otra de las causas por las cuales se opta por este tipo de lavador hueco es la altura de aproximadamente 15 m, a las cuales han de ser montados y las

interferencias existentes de manera que serian muy complejas las maniobras mediante medio de izaje, una vez montados.

Con el propósito de incrementar la eficiencia de este lavador hueco se optó por el montaje de un Venturi a la entrada el que también trabaja adicionándole agua, lo que hace el sistema más eficiente, en el Venturi se experimentan variaciones de velocidad y presión que facilitan la captación del polvo.

Ver en la figura 2.3 el sistema de limpieza de gases que se propone.

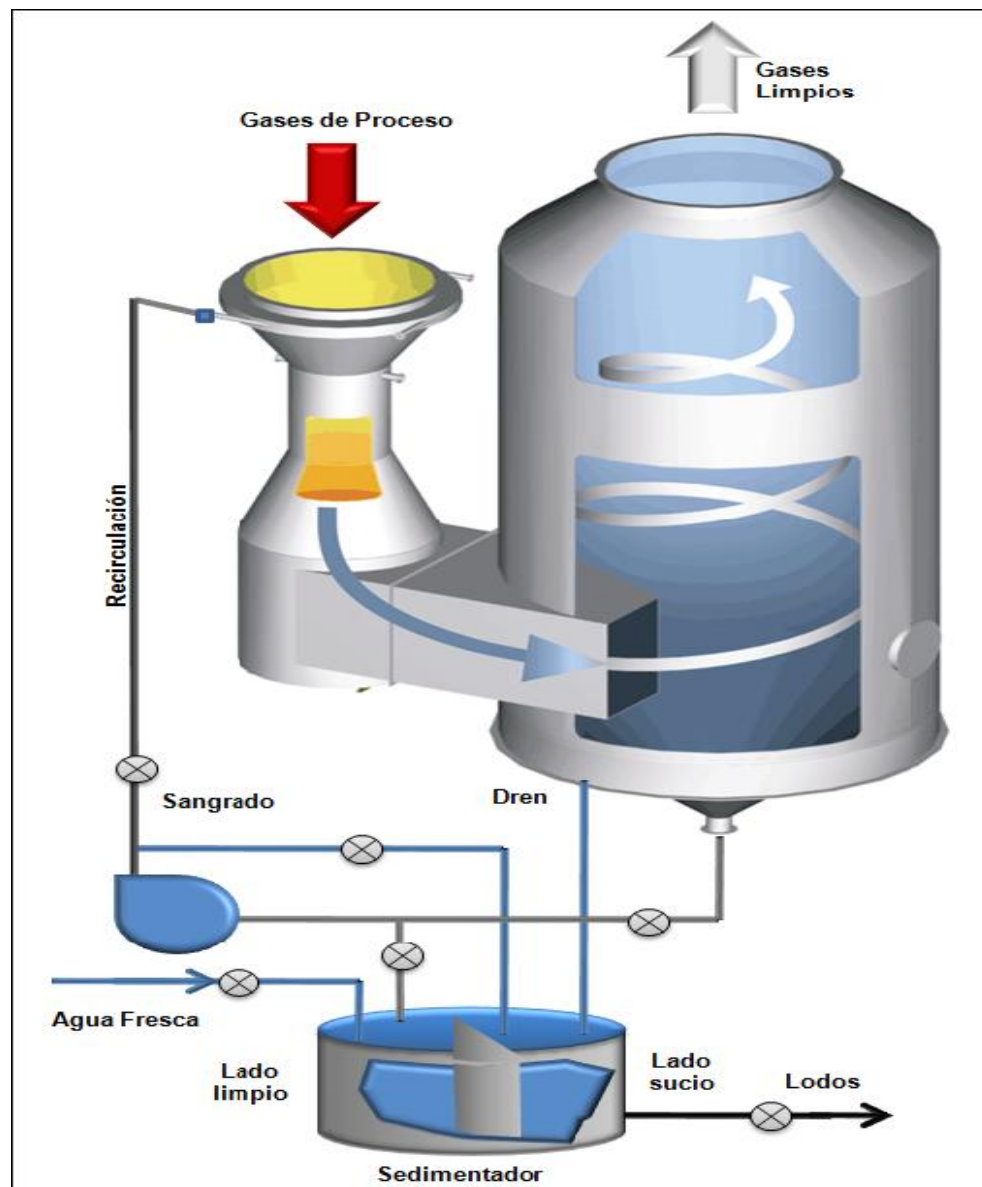


Figura 2.3 Hidrociclón de limpieza de gases y principio de operación de todo el conjunto

2.3.1 Metodología de cálculos de captadores de polvo rápido (CPR)

Los cálculos están basados en una proporción dimensional experimentada por el fabricante de los ciclones de alta eficiencia, para procesar las partículas finas, la promoción según Gordon & Peisájov, 1977, plantean que el cálculo de los tubos de de Venturi se debe realizar a partir de las siguientes ecuaciones:

La longitud del Venturi (L_v) se determina por la ecuación 2.1

$$L_v = 15,50 \cdot d \quad 2.1$$

donde:

d : es el diámetro de la garganta del Venturi, mm.;

La longitud del confusor (L_c) se determina por la ecuación 2.2

$$L_c = 12,35 \cdot d \quad 2.2$$

El difusor posee una longitud, determinada a partir de la ecuación 2.3, o sea, la longitud del difusor (L_d) es de:

$$L_d = 3,00 \cdot d \quad 2.3$$

La longitud de la garganta del Venturi (L_g) se determina a partir de la ecuación 2.4

$$L_g = 0,15 \cdot d \quad 2.4$$

La longitud de los spray (L_s) debe determinarse a partir de la ecuación 2.5

$$L_s = 1,45 \cdot d \quad 2.5$$

2.3.2 Cálculo de las dimensiones del tubo Venturi

Uno de los parámetros fundamentales en el Venturi es la velocidad del movimiento de los gases. Para ello Gordon & Peisájov, 1977 recomendaron un rango entre 70 y 100 m/s.

Para la situación analizada se definió tomar el valor de 100 m/s.

Cálculo del área de la sección transversal

El área de la sección transversal (A) que se define, donde el diámetro del tubo se determina a partir de la ecuación 2.6

$$A = \frac{Q}{V} \quad 2.6$$

Donde:

Q: es el flujo o cantidad de gases que se succiona por el ventilador de tiro; m³/s;

V: es la velocidad de los gases recomendada: m/s.

Después de haber determinado el área de la sección transversal entonces se determina el diámetro del tubo por la ecuación 2.7

$$d = \frac{\sqrt{4 \cdot A}}{3,14} \quad 2.7$$

2.3.3 Cálculo del ducto de entrada al Hidrociclón

Para determinar este parámetro se necesita calcular el flujo de gases (Q) que debe pasar, en el trabajo se aprovecha la práctica real de los secaderos.

La sección transversal de entrada es rectangular como se puede observar en la figura 1.6, con dimensiones de ancho (a) y alto (b). por tanto, el ancho se puede determinar a partir de la ecuación 2.8.

$$a = Q / (v \cdot b) \quad 2.8$$

Donde:

v: es la velocidad del flujo, m/s.

y el alto se determina a partir de la ecuación 2.9.

$$b = A/a \quad 2.9$$

2.3.4 Cálculo del consumo de agua

Para la captación del polvo, o lavado de gases se debe determinar la cantidad de agua necesaria, la misma se determina a partir de la ecuación 2.10, es decir, la cantidad de agua a suministrar al Hidrociclón está en función del volumen de gases que llega a la entrada multiplicado por un coeficiente que oscila entre 1 y 1,5 L/min.

$$Q_{agua} = Q_{gases} \cdot (1 \div 1,5) \dots\dots\dots 2.10$$

Donde:

Q_{agua} : es el caudal de agua, L/min;

Q_{gases} : es el flujo de gases, L/min.

Conclusiones parciales

- ✓ En este capítulo se abordan los métodos y procedimientos a seguir en la concepción del proyecto. En el que se incluyen el formulario de cálculo, el principio de funcionamiento de los elementos que forman el conjunto entre ellos, el funcionamiento del Venturi y del hidrociclón.
- ✓ El funcionamiento de los ciclones es similar al de los hidrociclones con la diferencia que en estos últimos se emplea agua para la deposición de las partículas de polvo, y para hacer más eficiente el proceso de captación se le incluye delante del hidrociclón un Venturi.

CAPÍTULO 3.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Composición química del polvo que se pretende evitar su emisión al medio ambiente.

En el análisis del sistema de captación de polvo, uno de los parámetros más importantes a analizar es la composición química del polvo. En la tabla 3.1 se presenta su composición racional. En la misma se puede observar que existen porcentajes considerados de: SO₂, NO₂, CO₂, PM10, Pb, O₃ y otros elementos metálicos.

Tabla 3.1. Composición química del aire en Cuba, dada en mg/m³

Contaminante	Contenido, mg/m ³
SO ₂	0,5
NO ₂	0,085
CO ₂	5,0
PM10	5
Plomo	-
O ₃	0,16

En el diseño se utilizan los hidrociclones de alta eficiencia con ligeras modificaciones determinadas por el espacio disponible para su ubicación

En la tabla 3.2 se muestran los valores de eficiencia de los lavadores de polvo (hidrociclones) en función de la cantidad de partículas en los gases.

Tabla 3.2. Eficiencia aproximada de los distintos Hidrociclones

Familia de ciclones	Eficiencia de remoción, (%)	Tamaño total de partículas	
		PM10	PM2.5
Convencionales	70 - 90	30 - 90	0 - 40
Alta eficiencia	80 - 99	60 - 95	20 - 70
Alta capacidad	80 - 99	10 - 40	0 - 10

Nota: Esta eficiencia responde a experimentaciones realizadas por los fabricantes, las que se han dado en %, ello no es más que la relación de polvo que sale del ciclón entre la cantidad de polvo que entra al mismo expresado en %. La máxima eficiencia se puede ver en el hidrociclón con las partículas PM10.

3.2 Análisis de los resultados de las dimensiones del Venturi

Los cálculos del Venturi están basados en una proporción dimensional experimentada por el fabricante de los ciclones de alta eficiencia, para procesar las partículas finas, la promoción está representada en la tabla 3.3. En dicha tabla se muestran además, los resultados obtenidos calculados para las dos plantas en operación (Planta Vieja y Planta Nueva).

Tabla 3.3 Cálculo de los captadores de polvos rápidos

DIMENSIONES DEL VENTURI		Planta Vieja	Planta Nueva
Longitud del Venturi, mm	15,50 d	12136	12369
Longitud del confusor, mm	12,35 d	9670	9855
Longitud del difusor, mm	3,00 d	2349	2394
Longitud de la garganta, mm	0,15 d	117	120
Longitud colocación de los spray, mm	1,45 d	1135	1157

Nota: Estos dados en la actualidad no se corresponden con la realidad, dado a que se varió la velocidad de los impelentes hasta 588 rpm, y la potencia a 160 kW.

De la tabla se puede resaltar que las dimensiones calculadas, resultan ser mayor para la Planta Nueva que para la Planta Vieja; tal aspecto se debe a la diferencia del flujo volumétrico entre las dos plantas.

En las figuras 3.1 y 3.2 se muestra el diseño con las correspondientes dimensiones de los tubos Venturi, tanto para Planta Vieja, como para Planta Nueva.

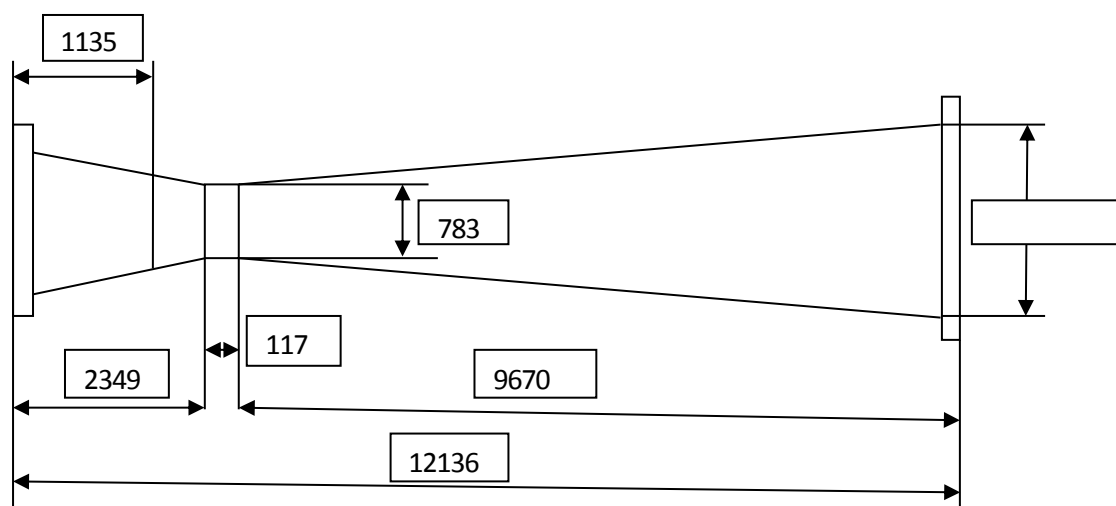


Figura 3.1. Venturi para colocar en el ducto de Planta Vieja a la entrada del ciclón lavador

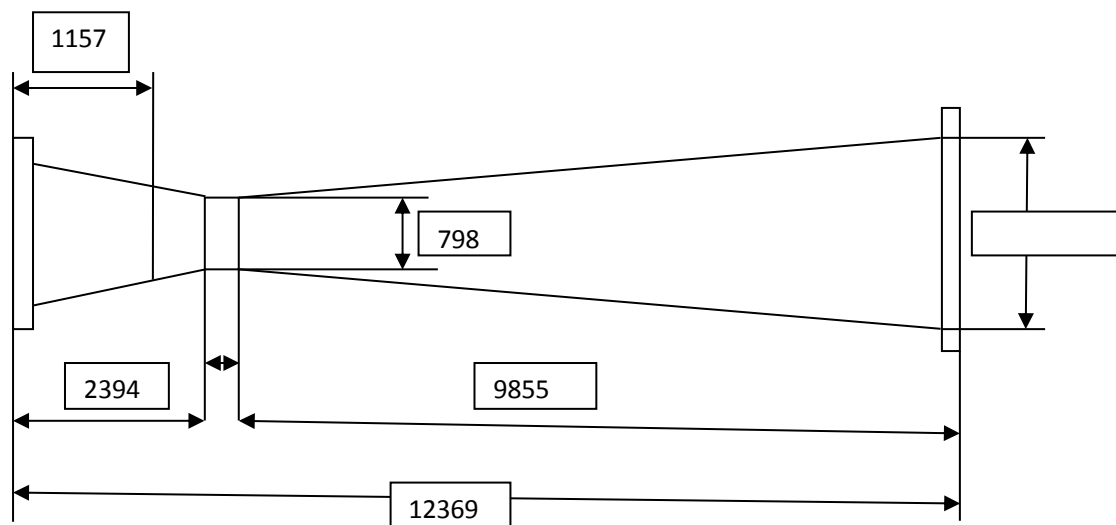


Figura 3.2. Venturi para colocar en el ducto de Planta Nueva a la entrada del ciclón lavador

3.3 Análisis de los captadores de polvo rápido (CPR)

Los captadores de polvo rápidos (CPR) se utilizan ampliamente en la metalurgia de metales no ferrosos a partir de 1950.; a ello contribuye el equipamiento sencillo y de pequeño tamaño y el mantenimiento fácil.

Para el cálculo de los captadores, uno de los parámetros importantes a tener en cuenta es el flujo de gases que envían los ventiladores de tiro hacia el sistema de captación de polvo. Para ellos, en la tabla 3.4 se muestra el valor correspondiente a cada una de las plantas analizadas. Se puede observar en la tabla, que en la planta nueva se maneja mayor cantidad de gases (106 000 CFM) que en la planta vieja (102 000).

Tabla 3.4. Resultados totales de los parámetros para el cálculo del Venturi

Parámetros		Planta Vieja	Planta Nueva
Flujo (Q)	CFM	102 000	106 000
	m ³ /min	2 888,32	3 001,59
	m ³ /s	48,14	50,03
Área de la garganta del Venturi (A)	m ²	0,48	0,50

Para ambos casos, la velocidad recomendada para la circulación del gas por el captador se consideró el mismo valor (100 m/s).

En la tabla 3.5 se muestran los resultados obtenidos en el cálculo del hidrociclón. En el caso de hidrociclón se tomó una velocidad del flujo de 40 m/s.

Tabla 3.5. Resultados de parámetros base para el cálculo del hidrociclón

Parámetros		Planta Vieja	Planta Nueva
Flujo (Q)	CFM	102 000	106 000
	m ³ /min	2 888,32	3 001,59
	m ³ /s	48,14	50,03
Área de la garganta del Ventury (A)	m ²		
Alto de la entrada del hidrociclón (a)	mm	1337	1387
	m	1,337	1,387
Ancho de la entrada del hidrociclón (b)	mm	900	900
	m	0,900	0,900

Por consiguiente la entrada en el hidrociclón será de 900 mm de ancho por 1337 mm para la Planta Vieja, y de 900 mm de ancho por de 1387 mm alto para la Planta Nueva.

Notas: Con el propósito de estandarizar el equipamiento, sin que ello atente contra su eficiencia, adoptaremos la conexión del Venturi al hidrolavador con las siguientes dimensiones, 900 x 1300 mm (a = 1300 mm; b = 900 mm)

En la tabla 3.6 se muestran los resultados de las dimensiones del hidrociclón que se calculó, y por tanto, se propone utilizar.

Tabla 3.6 Dimensiones de los Hidrociclones de alta eficiencia a utilizar en Secaderos

Parámetros		Nomenclatura	Tipo de ciclón	
			Swift	mm
No	Diámetro del ciclón	D_c/D_c	1,0	2954
1	Altura de entrada	$K_a=a/D_c$	0,44	1300
2	Ancho de entrada	$K_b=b/D_c$	0,30	900
3	Altura de salida	S/D_c	0,5	1477
4	Diámetro de salida	D_s/D_c	0,4	1182
5	Altura parte cilíndrica	h/D_c	1,2	3545
6	Altura parte cónica	z/D_c	0,3	1477
7	Altura total del ciclón	H/D_c	1,5	4431
8	Diámetro salida partículas	B/D_c	0,1	295
Por tratarse de un hidrociclón entendimos conveniente modificar las filas del 5, 6 y 8				

En la figura 3.3 se observa el hidrociclón que se debe instalar con sus respectivas dimensiones.

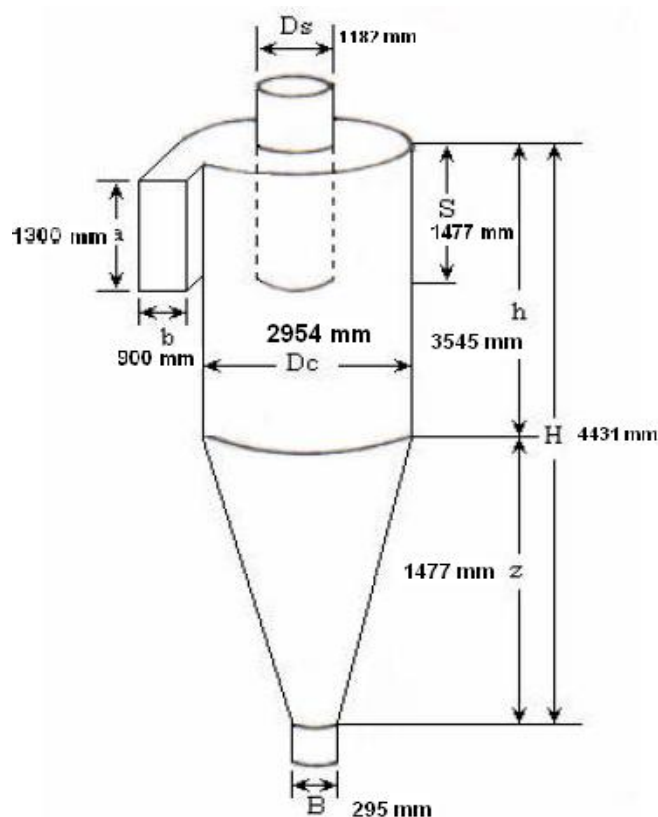


Figura 3.3. Características de los hidrociclones de alta eficiencia

3.4 Consumo de agua en el hidrociclón

Relación líquido-gas en el hidrociclón. Es la relación entre el volumen de líquido que se utiliza para tratar un volumen de gas contaminado. Esta relación tenderá a aumentar con el aumento de la carga de partículas en el efluente contaminado con el fin de mejorar la eficiencia. Esta relación suele encontrarse entre 1 y 1,5 litros por cada metro cúbico de aire contaminado. Los resultados se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Consumo de agua en el hidrolavador en L/min

	Planta Vieja	Planta Nueva
Relación de 1	2888,32 L/min	3001,59 L/min
Relación de 1,5	4332.48 L/min	4502,38 L/min

Tabla 3.8. Cálculo estimado de la inversión

Concepto	Valor/ CUC	Valor / CUP
Asistencia técnica	321	642
Diseño de equipos y accesorios	642	1284
Materiales	1250	2500
Mano de obra en fabricación	2500	5000
Mano de obra en montaje	2250	4500
Transportación	220	440
Izaje	165	330
Total	7348	14696

Este es el valor estimado de la inversión para un solo sistema donde se incluye desde la asesoría técnica, el diseño, compra de materiales, la fabricación y el montaje incluyendo el izaje. Para determinar el cálculo para los siete secaderos solo tendríamos que multiplicar estos valores por siete.

3.7 Impacto Medioambiental

Con la propuesta del nuevo sistema de colección húmedo en la planta de Preparación de Mineral, se logra mejorar considerablemente el entorno laboral y disminuye las emisiones de gases y polvo hacia los puestos de trabajo, aumentando la calidad del aire lo que disminuye los problemas respiratorios en los trabajadores de las áreas de la empresa.

El proceso estudiado utiliza el agua como sistema colector principal lo que conllevaría a disminuir las pérdidas por este concepto y las emisiones de gases junto al polvo emitido en los secaderos,. Teniendo en cuenta que estas emisiones son perjudiciales para la vida de los seres humanos y de las plantas se infiere que la reducción de las emisiones mejora la calidad de aire en el entorno laboral y en los barrios cercanos a la empresa, lo que repercute en la disminución de los niveles de contaminación aire y en la supervivencia de los ecosistemas de los territorios aledaños.

Conclusiones parciales

Con el desarrollo de este capítulo, se llegó a la siguiente conclusión parcial:

- ✓ Se producen emisiones de polvo que afectan a la producción, a los trabajadores y la población en general, estas emisiones se pueden reducir prácticamente en su totalidad con la aplicación del proyecto que se propone, para ello solo se requiere de pocos recursos humanos y materiales y de la voluntad en su ejecución.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Después de realizar los cálculos pertinentes se pudo proponer el esquema de un hidrociclón para recuperar el polvo. Cuyas características fundamentales son: diámetro de 2954 mm y alto de 4431 mm, con aperturas de entrada de 900 x 1300 mm.
- Los cálculos realizados permitieron estimar que con la aplicación de este trabajo se reducen las emisiones de polvo que tanto afectan a la comunidad y todas las instalaciones existentes dentro de su radio de acción, de manera que ello sería una inversión altamente rentable.
- Directamente mejora la cultura industrial y se reducen las afectaciones al resto de los ecosistemas.
- A través del trabajo se realiza la captación de polvo existente en la Planta de Secaderos.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- ✓ Por los resultados pilotos obtenidos en instalaciones similares se propone aplicar la variante propuesta a uno de los secaderos.
- ✓ Instalar en todo el sistema válvulas con mandos a distancia de manera que se puedan agilizar las operaciones de entrada y salida de los equipos de línea.
- ✓ Aplicar el mismo principio a todos los secaderos a fin de reducir al mínimo la contaminación ambiental que es generada por dichas instalaciones.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Astorga, E. et al. 1993. Memorias del Seminarios del Derecho Ambiental, CEOAL, Fundación Fridrich Ebert.
2. Bouso, A. 2002. Soluciones Medioambientales para las plantas de tratamiento de áridos vía húmeda. II Jornadas Iberoamérica de materiales de construcción. La Habana..
3. Cabanillas, A.1996. Reparación de los daños al medio ambiente 1ra Ed. Aranzadi S.A. Pamplona.
4. CALIDAD DEL AIRE en <http://www.montevideo.gub.uy/ambiente>. Consulta 18/03/2013
5. CENTRO DE INFORMACION, GESTION Y EDUCACION AMBIENTALI (CIGEA) en <http://www.cuba.cu/ciencia/CIGEA/index/htm>. Consulta 20/03/2013
6. CENTRO DE INSPECCION Y CONTROL AMBIENTAL en <http://www1.cuba.cu>. Consulta 20/03/2013
7. CONTROL DE EMANACIONES DE POLVO A LA ATMOSFERA en <http://www.ame.com.au/mines/ni/tocantins-Niquelandia.htm>. Consulta 22/04/2013
8. Cuesta, I et al, 2004. Investigaciones para zonas habitables de la categoría de la calidad del aire.
9. Dominguez, S. 2008: Inventario de la emisión para los contaminantes del aire, emitidos por fuentes puntuales de la empresa “Cmdte. Ernesto Che Guevara”, Trabajo de Diploma, ISMM, Moa.
10. Gordon, G.1977: Captación de polvos y purificación de Gases en la metalurgia de metales no ferrosos, Editorial Mir. Moscú.

11. INDUSTRIA DEL NIQUEL EN NONOC MINIMIZA CONTAMINANTES en <http://www.ame.com.au/mines/ni/philippines.htm>. Consulta 20/04/2013
12. IZAGUIRRE, E. et al. 2004. Investigaciones para zonas habitables de la categoría de la calidad del aire.
13. LAND, H.F. 1971: Industrial pollution control Handbook, Mc Graw. - Hill Book Co. New York.
14. Ley No 33 de enero 1981, Protección del Medio Ambiente y del Uso Racional de los Recursos Naturales, Gaceta Oficial Ordinaria de 12 de Febrero de 1981.
15. Ley No 81 de 11 de Julio de 1997, del Medio Ambiente.
16. NC: 93-02-202. Atmósfera. Requisitos higiénicos sanitarios.
17. NC: 111: 2004. Calidad del aire – reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos.
18. NC-19-01-31:82. SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación total del
19. NC-19-01-60:87. SNPHT. Aire de la zona de trabajo. Determinación y evaluación
20. NC-39:1999. (Antes NC-93-02-202:1987). Calidad del aire. Requisitos Higiénico-Sanitarios.
21. Propuesta de Ley básica de protección ambiental y protección al desarrollo sostenible, programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
22. PERRY, R. y CHILTON, C. 1985. Chemical Engineers Handbook, TI, Edición Revolucionaria, La Habana.
23. Resolución 19 de 2000, del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
24. REYES, D. et al 2011. Categoría de calidad del aire para zonas habitables.
25. YABULU ESTUDIA LA REDUCCION DEL IMPACTO AL MEDIOAMBIENTE en <http://www.ame.com.au/mines/ni/yabulu.htm>. Consulta 22/04/2013