**SUB-EVENTO ¨VII SIMPOSIO INTERNACIONAL DE QUÍMICA¨**

**Título**

**Propuesta de instalación de un sistema para la remoción del polvo en la planta de asfalto “Giraldo Pacheco” de Santa Clara.**

***Title***

***Proposal for the installation of a system for the removal of dust at the "Giraldo Pacheco" asphalt plant in Santa Clara.***

1. Yunia Salazar Triana. Empresa Constructora de Obras d Ingeniería, ECOING25, Cuba, [yunia@ecoing25.cu](mailto:yunia@ecoing25.cu)
2. Juan Bautista de León Benítez. Universidad Central ¨Martha Abreu¨ de las Villas, Cuba, juanba@uclv.edu.cu

**Resumen**

En el siguiente trabajo se propone la instalación de un sistema que logra remover el polvo generado en el proceso de secado de los áridos que se emplean en la mezcla asfáltica que se produce en la Planta de asfalto “Giraldo Pacheco” en Villa Clara, encargada de vender y colocar el hormigón asfáltico para la habilitación y rehabilitación de viales y aeródromos en todo el territorio nacional. Para ello se realizó un diagnóstico del tratamiento que se utiliza en la actualidad a la generación de este residuo donde se constató que no existe un sistema eficiente, para el control de las emisiones de estas partículas representando un riesgo potencial para el medio ambiente, la salud y la economía empresarial. Se evaluaron las diferentes tecnologías y equipos que se utilizan en el mundo y en Cuba en este tipo de fábricas para la selección de la solución definitiva y se desarrolló el análisis económico y ambiental de la propuesta en cuestión. Además se recomienda valorar el aprovechamiento del polvo obtenido en el propio proceso de producción de la mezcla asfáltica o en la industria de materiales de la construcción.

La propuesta aporta resultados positivos técnicos y económicos que garantizan un proceso de producción de hormigón asfáltico eficiente y compatible con el medio ambiente.

**Palabras claves**

Remoción del polvo; Hormigón asfáltico; Medio ambiente; Sistema eficiente; Propuesta.

***Abstract:***

*In the following work we propose the installation of a system that manages to remove the dust generated in the drying process of the aggregates that are used in the asphalt mix that is produced in the "Giraldo Pacheco" asphalt plant in Villa Clara, responsible for sell and place asphalt concrete for the habilitation and rehabilitation of roads and airfields throughout the national territory. To this end, a diagnosis was made of the treatment currently used to generate this waste, where it was found that there is no efficient system for the control of the emissions of these particles representing a potential risk to the environment, health and the business economy. The different technologies and equipment used in the world and in Cuba were evaluated in this type of factories for the selection of the final solution and the economic and environmental analysis of the proposal in question was developed. It is also recommended to evaluate the use of the powder obtained in the process of production of the asphalt mixture*

*or in the industry of construction materials.*

*The proposal provides positive technical and economic results that guarantee an efficient asphalt concrete production process compatible with the environment.*

***Keywords:*** *Removal of dust; Asphaltic concrete; Environment; Efficient system; Proposal*

**1. Introducción**

**1.1 Contaminación atmosférica**

La contaminación atmosférica por gases y polvos resultantes de los procesos industriales que trae consigo el desarrollo tecnológico alcanzado en las últimas décadas, degradan considerablemente el entorno medioambiental, laboral y afecta en gran medida la salud del ser humano constituyendo uno de los problemas ambientales más graves que compromete la vida en el planeta.

La composición del aire en la atmósfera se encuentra principalmente formada por Nitrógeno (N2) y Oxígeno (O2), 78.08 % y 20.95% respectivamente y el porcentaje restante lo integran 10 gases más en diversas proporciones. Por lo que cualquier elemento diferente o el incremento porcentual de algunos de estos gases en la atmósfera se considera como contaminante. (Díaz, 2007).

Por contaminación del aire se entiende la presencia en la atmósfera de sustancias en concentraciones y por períodos de tiempo suficientes para de afectar la salud de las personas, los animales y las plantas, así como causar perjuicios económicos o deterioro del entorno (Martínez, 2004 citado en Núñez, 2014).

Según su origen, la contaminación del aire se puede clasificar de forma natural o antropogénica. Dentro de los efectos naturales se encuentra la erupción volcánica, los incendios forestales, tormentas de viento sobre la superficie de los desiertos, erosión del suelo, putrefacción de materia orgánica, el polen, las bacterias y aerosoles de los océanos Los contaminantes se clasifican como primarios y secundarios.

Los contaminantes primarios son aquellos que se emiten a la atmósfera directamente de la fuente y dañan la flora y la salud de las personas, como el dióxido de azufre (SO2) y material particulado. Los contaminantes secundarios son aquellos que se forman mediante procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o sobre especies no contaminantes en la atmósfera, ejemplo el ácido sulfúrico (H2SO4) y el ozono O3. También los contaminantes se clasifican en gases y material particulado. Los gases incluyen sustancias como el monóxido y dióxido de carbono (CO, CO2), SO2, óxidos de nitrógeno (NOx) compuestos orgánicos volátiles (COV), metano (CH4), O3 y otros. El material particulado está compuesto por pequeñas partículas líquidas o sólidas de polvo, humo, niebla y ceniza, partículas metálicas, cemento, polen (EPA 1992ª, Stanley. 2007, citado en Núñez, 2014).

La contaminación atmosférica o contaminación del aire es, uno de los principales factores que degradan el medio ambiente. Yassi A la describe como “la emisión al aire de sustancias peligrosas a una tasa que excede la capacidad de los procesos naturales de la atmósfera para transformarlos, precipitarlos y depositarlos o diluirlos por medio del viento y el movimiento del aire”

Los contaminantes primarios han sido considerados como aquellas sustancias que son emitidas directamente a la atmósfera. Entre los contaminantes atmosféricos más frecuentes que causan alteraciones en la atmósfera se encuentran: Aerosoles (en los que se incluyen las partículas sedimentables y en suspensión y los humos), Óxidos de Azufre, SOx, Monóxido de Carbono, CO, Óxidos de Nitrógeno, NOx, Hidrocarburos, HN, Ozono, O3, Anhídrido Carbónico, CO2 . (Díaz, 2007)

La American Society for Testing and Materials (ASTM) define los siguientes términos para las diferentes categorías de partículas en la atmósfera:

*Aerosoles:* Partículas sólidas o líquidas de tamaño microscópico en medio gaseoso, tales como humo, niebla o bruma.

*Polvo:* Se refiere a partículas sólidas capaces de mantenerse suspendidas en el aire por un tiempo limitado y que pueden sedimentar debido a la acción de la gravedad (tamaño mayor que 1 μm).

*Gotas*: Partículas líquidas de pequeño tamaño, capaces de mantenerse suspendidas en la atmósfera, bajo condiciones de turbulencia.

*Cenizas:* Partículas de cenizas finamente divididas arrastradas por gases de combustión.

*Niebla:*Se refiere a aerosoles visibles, formados por agua líquida o hielo dispersos en el aire.

*Humo:* Son partículas sólidas de pequeño tamaño, derivadas de la combustión incompleta, constituidas principalmente por carbón y otros materiales combustibles.

Polvo**.** Está formado por las [partículas](https://www.ecured.cu/Part%C3%ADculas) sólidas muy pequeñas que se levantan del [suelo](https://www.ecured.cu/Suelo) y flotan en el [aire](https://www.ecured.cu/Aire) o caen sobre los objetos formando una capa de suciedad, con un diámetro menor a los 500 micrómetros En la [Tierra](https://www.ecured.cu/Tierra), el polvo que se encuentra en la [atmósfera](https://www.ecured.cu/Atm%C3%B3sfera) terrestre proviene de varias fuentes, por ejemplo: polvo del suelo levantado por el viento, [erupciones volcánicas](https://www.ecured.cu/Erupciones_volc%C3%A1nicas), incendios y polución. El polvo disperso en el aire es considerado un aerosol y puede tener efectos sobre las propiedades y comportamiento de la [atmósfera](https://www.ecured.cu/Atm%C3%B3sfera) frente a la radiación solar y efectos significativos en el [clima](https://www.ecured.cu/Clima).

<https://es.wikipedia.org/wiki/Polvo>

**1.2 Material Particulado.**

El material particulado es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados en el mundo, este se define como el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera (Mészáros, 1999), que se originan a partir de una gran variedad de fuentes naturales o antropogénicas y poseen un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas.

El material particulado con diámetro aerodinámico menor igual a 2,5 y 10 µm (PM2.5, PM10) respectivamente, provoca efectos nocivos a la salud humana, elevando la morbilidad y mortalidad por enfermedades cardíacas y pulmonares, en la medida que se eleva la concentración del contaminante, tiende a deteriorase la salud de los individuos expuestos a estas condiciones, lo cual se ha demostrado en estudios realizados por el Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI) en las ciudades de Bogotá, Medellín, Buenos Aires, Lima, Santiago y Sao Paulo. Además, otros estudios en ciudades de Europa, Estados Unidos y Cuba, concuerdan con estos resultados. (Folinsbee 1992; Harrison 2000, Fusco 2001, Alem 2005, Herrera 2010, citado en Núñez, 2014).

La contaminación atmosférica por material particulado se define como la alteración de la composición natural de la atmósfera como consecuencia de la entrada en suspensión de partículas, ya sea por causas naturales o por la acción del hombre (Mészáros, 1999). Muchas provienen de procesos naturales, y son transportadas debido a la acción del viento; por ejemplo, las cenizas derivadas de los incendios y erupciones volcánicas, la acción del viento sobre los océanos y la turbulencia del mar que genera aerosoles, el polvo de los suelos secos sin cobertura vegetal, el polen, etc. Además, las partículas son originadas por una gran gama de procesos tecnológicos, tales como en la combustión de madera y de combustibles fósiles, y en el procesamiento de material sólido (reducción de tamaño, secado, transporte, etc.). (Zaror, 2000).

La contaminación del aire puede ser definida como gases dañinos o partículas en la atmósfera externa en concentraciones lo suficientemente altas para ser dañinas a la salud humana o al bienestar, a las plantas, a los animales o las cosas; o simplemente el causar la interferencia con el disfrute normal de la vida o propiedad. Los contaminantes primarios del aire (aquellos emitidos directamente al aire), y los contaminantes secundarios (aquellos formados por reacciones en la atmósfera como el nivel de ozono) son ambos problemas serios. Algunos contaminantes son emitidos en las cantidades muy grandes, como por ejemplo materia particulada (MP) y los contaminantes gaseosos (dióxidos de azufre SO2, óxidos de nitrógeno NOx, compuestos orgánicos volátiles VOCs, y monóxidos de carbono CO). Materia particulada (MP) es el término general utilizado para una mezcla de partículas sólidas y de pequeñas gotas líquidas suspendidas en el aire. La Agencia para la Protección Ambiental (*Enviroment Protection Agency* - EPA) de los Estados Unidos, define MP10, como la materia particulada que tiene un diámetro aerodinámico nominal de 10 μm o menos. Se define MP2.5 como la MP con diámetro aerodinámico igual o menor a 2.5 μm. En general, “MP gruesa” se refiere a MP10, mientras que MP “fina” se refiere a MP2.5. (Fernández, 2008)

El material particulado existente en el aire, corresponde a partículas sólidas y líquidas que se encuentran en suspensión en la atmósfera y cuyos tamaños oscilan entre 2×10−4 y 5×102 μm. Estas partículas se encuentran ampliamente repartidas en la atmósfera, y forman una suspensión estable en el aire. La composición química de las partículas depende de su origen y, generalmente, constituyen una mezcla de substancias diversas, entre las cuales se puede mencionar: silicatos, carbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, óxidos, metales, carbón, alquitrán, resinas, polen, hongos, bacterias, etc. Muchas provienen de procesos naturales, y son transportadas debido a la acción del viento; por ejemplo, las cenizas derivadas de los incendios y erupciones volcánicas, la acción del viento sobre los océanos y la turbulencia del mar que genera aerosoles, el polvo de los suelos secos sin cobertura vegetal, el polen, etc. Además, las partículas son originadas por una gran gama de procesos tecnológicos, tales como en la combustión de madera y de combustibles fósiles, y en el procesamiento de material sólido (reducción de tamaño, secado, transporte, etc.).(Zaror, 2000).

Cuanto menor sea una partícula, más tiempo permanecerá en suspensión y por consiguiente podrá ser transportada a mayores distancias. La Tabla 1 muestra tamaños típicos de partículas y los tiempos teóricos para que caigan 1m, según la ley de Stokes. Partículas muy pequeñas pueden, en la práctica, no sedimentar nunca en una atmósfera seca. Ya en atmósferas húmedas pueden actuar como núcleos de condensación de humedad y precipitar con la lluvia. Dependiendo de su composición química pueden llevar contaminación al suelo y a las aguas. Además, una vez depositadas, pueden ser movilizadas nuevamente y transportadas por las aguas o incorporarse a los seres vivos. (Fernández, 2008).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tipo de Partículas** | **Diámetros de** **partículas (µm)** | **Tiempo teórico para caer 1 m** |
| Polvos de carbon | 100 a 1 | 1.1 seg a 168 min |
| Polvos de cemento, fragmentación de minerales | 100 a 0.1 | 1.1 seg a 142 horas |
| Cenizas voladoras | 100 a 0.1 | 1.1 seg a 142 horas |
| Humos de combustión de aceites | 1 a 0.1 | 168 min a 142 horas |
| Núcleos de combustión | 0.1 a 0.01 | 142 horas a 99 días |
| Polvos y humos metálicos | 100 a 0.001 | 1.1 seg a 3 años |

Tabla 1. Tamaños típicos de emisiones atmosféricas de partículas. (Fernández, 2008)

En Cuba las emanaciones de polvo y gases a la atmósfera se regulan por la norma, NC 39 del año 1999 “Sistema de Normas para la Protección del Medio Ambiente. Atmósfera”que se aplica a las empresas industriales y demás instalaciones productivas y de servicios, generadoras de sustancias contaminantes del aire, con el objetivo de proteger la atmósfera.

Con objeto de minimizar el deterioro ambiental en la salud y economía de la industria de producción de hormigón asfáltico es necesario poner en funcionamiento estrategias de control y reducción de las emisiones de material particulado atmosférico, la introducción de medidas tecnológicas y de gestión que permiten reducir los consumos de materiales y energía, prevenir la generación de residuos en su fuente misma, y reducir los riesgos operacionales y otros posibles aspectos ambientales adversos, a través de todo el ciclo de producción.

La conservación y protección del medio ambiente son preceptos de suma importancia mundialmente y en Nuestro país se implementan programas y estrategias que garantizan la disminución de los niveles de contaminación atmosférica mediante la reducción de residuos de los procesos industriales y los vertimientos a la atmósfera de polvos y gases entre otros contaminantes.. La captación y remoción de partículas presenta una problemática muy diversa en los distintos procesos industriales que generan emisiones a la atmósfera. La eliminación de polvo que arrastra un gas es necesaria para acondicionar las características de un gas a las permisibles para su emisión a la atmósfera, como paso intermedio para depurar una corriente gaseosa en un proceso de fabricación. En ocasiones el condicionante de la separación será un factor de seguridad, ya que algunos productos en estado de partículas muy finas forman mezclas explosivas con el aire, la Reducción del costo de mantenimiento de los equipos y siempre   la   eliminación de peligros para la salud o para la seguridad. La recuperación de productos en polvo del gas de descarga es vital para cualquier industria para evitar los problemas de contaminación y aumentar los rendimientos productivos.

Las normas y reglamentos son cada vez más rígidos en cuanto a la cantidad de humos y polvos que puede emitirse al exterior. Dentro del sistema empresarial cubano la Unidad Empresarial de Base Asfalto, perteneciente a la Empresa constructora de obras de ingeniería No25 se le confiere una gran relevancia para la economía nacional por la producción de hormigón asfáltico que cubre la red vial en muchas de las provincias cubanas por lo que se le atribuye una alta responsabilidad en la protección de su entorno laboral y medio ambiental.

La industria del asfalto se enfoca a la fabricación de mezclas asfálticas que combinadas con agregado pétreo, se utilizan para pavimentar caminos y construir carreteras o autopistas, es un sector productivo que contribuye considerablemente a la emisión de grandes cantidad de contaminantes a la atmosfera, debido a los procesos de combustión involucrados. Según datos bibliográficos entre los contaminantes más representativos de estas emisiones se encuentra; el material particulado (PST, PM 10 y PM 2.5), el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO y NO2), los óxidos de azufre (SO2 y SO3), el dióxido de carbono (CO2), el metano (CH4), vapor de agua, los compuestos orgánicos volátiles (COV) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). (Soto et al,2017)

Las plantas de asfalto en nuestro país son un foco de alerta para la atmósfera por su emisión de gases y polvos contaminantes y la planta de asfalto Giraldo Pacheco en Santa Clara no está exenta de esto, por lo que para atenuar la situación en la fábrica se instaló un sistema para el control de las emisiones del polvo integrado por un colector primario que separa las partículas más gruesas y un captador por vía húmeda, resultado del ingenio de los innovadores de dicha empresa, que a pesar de atenuar la emisión de partículas, no logra la eficiencia requerida para cumplir con las normas y regulaciones vigentes en nuestro país lo que trae como consecuencia que los gases salgan por la chimenea con un alto contenido de partículas en forma de aerosol, contaminando el asentamiento poblacional aledaño a la industria, como se describe en el Informe de los resultados de los pronósticos de Calidad del Aire, en el diagnóstico de la planta. El efecto nocivo que el polvo o las partículas sólidas en suspensión producen en los aspectos ambientales y en la salud, reside precisamente en que se dispersen en la atmósfera y puedan afectar la visibilidad, la respiración y sedimentarse sobre equipos, el terreno o la vegetación. Por tanto, evitando en su origen, que el polvo entre en suspensión en la atmósfera se evitará toda la cadena de efectos que impactan en el medio ambiente, la salud y la economía de la fábrica.

Precisamente, resolver problemas de la producción de asfalto en el sector de la construcción con alternativas de cambio, implica analizar y valorar nuevas tecnologías que cumplan con las demandas establecidas de productos con elevada calidad y que minimicen el deterioro medioambiental lo cual, sin lugar a dudas, permitirá dinamizar la economía del país y de la empresa.

Esta situación problémica lleva a la necesidad de abordar este hecho con un enfoque científico técnico y sistémico que brinde los conocimientos y experiencias necesarios para un adecuado manejo de la situación.

**Problema Científico.**

La no existencia de un sistema eficiente para el control de las emisiones del polvo en la planta de asfalto de Santa Clara genera una cadena de efectos nocivos que impactan en el medio ambiente la salud y la economía de la fábrica.

El compromiso con la protección medioambiental y la sostenibilidad en esta industria, han motivado la necesidad de controlar la emanación de partículas de polvo a la atmósfera con el objetivo de atenuar los efectos nocivos que estas producen en los aspectos ambientales, la salud y economía empresarial así como cumplir con las normativas estipuladas en la legislación vigente.

Seleccionar el sistema adecuado para el control de las emisiones del polvo en esta fábrica depende de varios factores: disponibilidad de instalaciones, normas de seguridad, costos, etcétera. Por lo que requiere de una solución científica que garantice un eficiente funcionamiento de este sistema que pueda minimizar las afectaciones ambientales y de salud

Por todo lo anteriormente expuesto se define como objetivo de este trabajo,

**OBJETIVO GENERAL**

Proponer un sistema que logre una eficiente remoción del polvo en la planta de asfalto “Giraldo Pacheco” de Santa Clara.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Diagnosticar la situación actual que existe en la Planta de Asfalto “Giraldo Pacheco” de Santa Clara para el control de emisión del polvo que se genera en el proceso de secado de los áridos.
2. Evaluar los diferentes sistemas que existen para el control de la emisión del polvo.
3. Definir y proponer el sistema a utilizar para el control de la emisión del polvo en la planta de asfalto.

**Hipótesis de la investigación**

De instalarse un sistema eficiente para la remoción del polvo en la planta de asfalto de Santa Clara logrará minimizar las afectaciones que impactan en el medio ambiente, la salud y condiciona la eficiencia del proceso industrial.

**2. Metodología**

**Los Métodos de Investigación Científica** utilizados para la realización de esta investigación fueron los siguientes: Métodos teóricos que permiten la asimilación de la realidad; como el análisis, la síntesis, la abstracción, la inducción y deducción. Se incluye el histórico lógico aplicado como punto de partida para el estudio histórico del comportamiento del control y remoción del polvo que nos permite establecer pronósticos y verificar la hipótesis planteada.

Métodos empíricos cuyo contenido procede fundamentalmente de la experiencia adquirida, sometida a cierta elaboración racional y expresada en un lenguaje determinado, como el de la observación científica que se utiliza en para realizar el diagnóstico del problema a investigar y en el diseño de la investigación, el de la medición que permite la atribución de valores numéricos a propiedades del objeto y relaciones para evaluarlas y representarlas adecuadamente.

**2.1 Diagnóstico, información técnica y proceso productivo de la planta**

Las plantas de elaboración de mezclas asfálticas se clasifican de acuerdo a su ubicación en fijas o móviles, continuas, discontinuas y en productoras de hormigón asfáltico en caliente o en frío. Entre las plantas fijas y las móviles existen pocas diferencias en cuanto al proceso tecnológico, el mundo se inclina hacia la fabricación de plantas discontinuas y móviles, por garantizar una mayor homogeneidad y uniformidad de la mezcla asfáltica, una disminución de la inversión inicial y un menor costo de explotación. En Cuba predomina la planta continua y fija, existen más de 60 instalaciones en todo el país con diferentes orígenes: soviéticas, francesas, norteamericanas y de producción nacional, tienen una capacidad de producción nominal de hasta 90 t/h.

La provincia Villa Clara cuenta con dos plantas de producción continua con capacidad nominal de 60 t/h. La planta de asfalto “Giraldo Pacheco” ubicada en Santa Clara perteneciente a la Empresa Constructora de Obras de Ingeniería No 25 ECOING 25, de marca Barbergreen 842 y procedencia norteamericana de 1933, se implementa en 1952, con una capacidad de producción de 60t/h, constituye una planta de asfalto del tipo continua.Su misión consiste en producir, vender y colocar hormigones asfálticos para la habilitación y rehabilitación de viales y aeródromos en todo el país.

El proceso de elaboración del hormigón asfáltico caliente tiene dos fases o etapas bien definidas, que se producen en un proceso continuo. 1era etapa: Tratamiento, secado y calentamiento de los áridos y calentamiento del cemento asfáltico. 2da etapa: Mezclado de estos productos para la conformación del hormigón asfáltico caliente y su vaciado en el camión transportador. Los áridos se trasladan del patio de acopio a las tolvas de dosificación en frío mediante un cargador que los abastece según la demanda de cada producto, de estas tolvas mediante bandas transportadoras pasan al tambor secador donde ocurre el calentamiento y secado hasta alcanzando temperaturas hasta los 180 ˚C. En el extremo de descarga del tambor secador de áridos está montado como un primer colector, una cámara de choque, donde el flujo de gases de combustión, vapores y el polvo que se genera en el proceso de secado es obstaculizado con unas placas que tienen en su interior, separando así las partículas más gruesas generalmente las retenidas en tamiz #200 y reincorporándolas a la mezcla asfáltica mediante un tornillo sinfín, como vía de recuperación de materia prima. También reduce la carga de polvo que llega al sistema captador de polvo por vía húmeda que utiliza agua para captar las partículas que no se han sido retenidas en el primer colector, el cual no logra remover las emisiones de polvo con la eficiencia requerida para estar en correspondencia con la Norma Cubana NC 39:1999.Calidad del Aire. Requisitos higiénico-sanitarios, como se detalla en el informe de los pronósticos de calidad del aire (PCA) que se aplicaron en la planta en el período octubre-diciembre de 2011, por el Centro meteorológico provincial de Villa Clara . Además otra ineficiencia que presenta este proceso de captación de polvos es que genera un considerable residual fangoso, alrededor de 15metros cúbicos, cada en cada 16 horas de producción, que se vierten al medio sin que exista planta para el tratamiento de residuales, sin dejar de mencionar los gastos por concepto de consumo de agua y energía que se utiliza para el bombeo. Los gases sobrantes de esta etapa y el material particulado no capturado son expulsados a través de una chimenea.

El transportador elevador, descarga en el mezclador, donde se produce el hormigón asfáltico caliente. El asfalto se bombea a los tanques de almacenamiento y calentamiento donde se calienta a una temperatura en el rango de 140-150˚C. Al alcanzar esta temperatura se bombea hasta el mezclador donde se descarga y se liga con las diferentes fracciones de áridos.

Al concluir la producción diaria, la industria debe quedar limpia en su totalidad, por lo que sus residuos de áridos y asfaltos que se encuentran en proceso, se extraen y se depositan en áreas aledañas destinadas para ello.

6

1

2

3

4

5

7

Figura 1: Diagrama de flujo del proceso de secado de áridos. Elaboración propia

Simbología

1, 2,3. Tolvas de áridos

4. Tambor secador

5. Captador primario de polvos

6. Tanque de mezclado de los áridos con líquido asfáltico.

7. Captador por vía húmeda.

Los pronósticos de calidad del aire (PCA) según (Núñez, 2011),que se aplicaron en la planta en el período octubre-diciembre de 2011 con el objetivo de minimizar la emisión de material particulado MP10 sobre el asentamiento poblacional aledaño arrojaron los siguientes resultados:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Mes.** | **Fecha-hora (militar)** | **Nro. Frente frío** | **PCA 72h y 24h (μg/m3)** | **PCA t. real (μg/m3)** | **Avisos 7 días 72h 24h** | **Pudo haber ocurrido** | **Ocurrió** | **% Efect. del PCA** | **Efect. de la aplicación del PCA** | **Observ** |
| Oct. | Juev. 20-2.00 | 1 | 130 | 125 | Atención | Atención | No hubo ECCA | 96 | Bueno | Planta No trabaja |
| Oct. | Viern. 21 |  | 140 | 135 | Atención | Atención | No hubo ECCA | 96 | Bueno | Planta No trabaja |
| Nov. | Mart. 1-18.00 | 2 | 70 | 60 |  |  |  | 83 |  | Planta No trabaja |
| Nov. | Sáb. 5-3.00 | 3 | 160 | 170 | Alerta | Alerta | No hubo ECCA | 94 | Bueno | Planta No trabaja |
| Nov. | Sáb. 12-5.00 | 4 | 80 | 70 |  |  |  | 86 |  | Planta No trabaja |
| Nov. | Mart. 29-15.00 | 5 | 45 | 40 |  |  |  | 87 |  | Planta trabaja |
| Nov. | Miér. 30 |  | 170 | 195 | Alerta | Alerta | Hubo ECCA | 87 | **Malo** | Planta trabaja |
| Dic. | Juev. 8-14.00 | 6 | 70 | 60 |  |  |  | 85 |  | Planta No trabaja |
| Dic | Miér. 28-14.00 | 7 | 150 | 160 | Alerta | Alerta | No hubo ECCA | 92 | Bueno | Planta No trabaja |

Tabla 2: Resultados de los Pronósticos de Calidad del Aire en el periodo Octubre –Diciembre del 2011**.**

**Simbología.**

**PM10:** Partículas con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrones, capaces de penetrar el sistema respiratorio, con efectos adverso para la salud.

**ICA:** Índice de calidad del aire.

**Índice**: Veces que supera el contaminante la concentración máxima admisible de la norma, en este caso la norma de PM10 es 50 μg/m3, según la NC 39/1999. Calidad de Aire. Requisitos higiénico-sanitarios.

**PCA:** Pronósticos de calidad del aire.

**ECCA:** Episodio crítico de contaminación atmosférica.

**Días inactivos (DI)**: La planta no trabaja, no hay emisión de PM10.

Días inactivos desfavorables (DID): La planta no trabaja, no hay emisión de PM10, cambian las condiciones meteorologías, entrada de frente frío y seguido de altas presiones migratorias.

Días activos favorables (DAF): La planta trabaja, hay emisión de PM10 pero no se dispersa directamente sobre el asentamiento poblacional, dirección del viento del Este- Estenoreste.

Días activos favorables negativos (DAFN): La planta trabaja, hay emisión de PM10 pero no se dispersa directamente sobre el asentamiento poblacional, dirección del viento del Este- Estenoreste pero al final de la tarde cunado la fuente de emisión está inactiva cambian las condiciones meteorologías, entrada de frente frío y seguido de altas presiones migratorias.

Días activos desfavorables (DAD): La planta trabaja, hay emisión de PM10 la cual se dispersa directamente sobre el asentamiento poblacional, dirección del viento del Norte- Nortenoreste.

**Análisis de los resultados. (**Núñez, 2011) reporta lo siguiente

* El martes 29 de noviembre la planta trabajó al 25% de la producción promedio diaria (64 t) y el frente frío afectó el territorio después de las 3.00 pm, por lo que la emisión de PM10 sobre la zona poblacional fue baja, no hubo riesgo de ECCA.
* El día 30 de noviembre el territorio estaba afectado por las altas presiones migratorias después del paso del frente frío y la planta trabajó (DAD) al 35% por encima de la capacidad promedio (344 t), causas por la cuales el deterioro de la calidad del aire alcanzó categoría de Pésima, dando lugar a un ECCA con situación de Alerta.
* De los cinco días desfavorables con pronósticos de ECCA la planta de asfalto trabajó un día, representando el 20% del tiempo con repercusión negativa sobre el asentamiento poblacional.
* El DAD que la planta de asfalto trabajó emitió sobre el asentamiento poblacional 156 kg de PM10, figura 2
* La carga contaminante que no se emitió sobre el asentamiento poblacional los cuatro días desfavorables con pronósticos de ECCA por no trabajar la planta, originó una reducción de 460.00 kg de PM10 basado en los cálculos de la producción promedio diaria del periodo en estudio.
* Un ejemplo de la dispersión del PM10 alejado del asentamiento población en los DAF se muestra en la figura 3

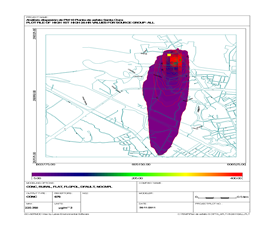


Figura 2: Emisión de PM10 por la planta de asfalto el 30-11-2011, con una producción de 344 t

siendo este un DAD, con vientos del NNE.

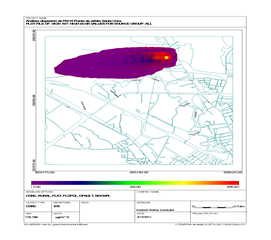


Figura 3: Emisión de PM10 por la planta de asfalto el 6-12-2011, con una producción de 265 t siendo este un DAF, con vientos del ENE.

Estos resultados reportados por (Núñez, 2011), junto a los expuestos en el diagnóstico reportado anteriormente en el presente trabajo avalan la imperiosa necesidad de instalar un sistema eficiente para el control de las emisiones de polvo que se genera en la producción de la mezcla asfáltica de la planta.

**2.2 Medios para el control de emisiones**

En el mundo ya por el año 1910 el [Wilhelm Beth](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Wilhelm_Beth&action=edit&redlink=1) de [Lubeca](https://es.wikipedia.org/wiki/Lubeca) llamado El padre de los colectores de polvo, presentó un colector de polvo del modelo Beth“-Colector KS¨ como sistema para el control de emisiones de polvo.

Un colector de polvo es un sistema que mejora la calidad del aire liberado por procesos industriales o comerciales mediante la recolección de [polvo](https://es.wikipedia.org/wiki/Polvo) y otras impurezas de un gas o aire. Fue diseñado para separar grandes volúmenes de gas, y consiste en un escape de gas, un filtro de polvo, un limpiador del filtro, y un receptáculo o un sistema removedor del polvo. Se diferencia de los [limpiadores de aire](https://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_de_aire) en que utilizan un filtro para remover el polvo.

Los colectores de polvos controlan las áreas con polvos fugitivos donde la salud, higiene, limpieza y el medio ambiente pueden verse afectados. En ambos casos, la selección correcta del colector de polvo representa ahorro de energía. Estos equipos se emplean principalmente para el manejo de materiales sólidos pulverulentos, por ejemplo en la industria química, minera, laboratorios y en todo lugar donde al manejar graneles o procesos que emitan polvos. Su operación es automática, muy sencilla, con consumos de energía moderados y no requiere supervisión para su operación, así como tampoco mantenimientos especializados, cumpliendo con las normas oficiales de calidad del aire, con una eficiencia superior al 99%, en la filtración de polvos y partículas que se capturan <https://es.wikipedia.org/wiki/ColectoresdePolvo>

Finalmente, los colectores industriales necesitan ser rentables y cada vez más eficientes para capturar partículas de polvo fino con el fin de cumplir con las normas más estrictas. Los colectores de polvo en general alcanzan estos objetivos mejor que cualquier otro sistema.

Para el control de emisiones se utilizan diferentes métodos y dispositivos dependiendo de las características de la emisión. Existe una variada gama de dispositivos para la extracción y remoción de polvos y contaminantes gaseosos, que se emanan a la atmósfera, basados en diferentes métodos y formas de operación, los que se clasifican de acuerdo al modo de separación de las partículas de la corriente de gas.

**2.3 Tipos y principios de funcionamiento de los dispositivos para la extracción de polvos.**

(Díaz y González ,2016) reportan la siguiente clasificación:

De acuerdo al aprovechamiento de la fuerza de gravedad se clasifican en:

1. cámaras de sedimentación

2. gasoductos

Aparatos basados en la acción de la fuerza centrífuga:

1. ciclones

2. filtros de celosías

3. filtros de inercia

Captadores de polvo por vía húmeda:

1. lavadores de gas

2. filtros de espuma

3. captadores turbulentos

Aparatos para la separación del polvo mediante un campo electrostático:

1. Precipitadores electrostáticos.

Equipos cuya filtración ocurre a través de materiales porosos:

1. filtros de telas (filtros de mangas).

**2.3.1** **Extracción de polvo a través de Cámaras de sedimentación y gasoductos.**

Las cámaras de sedimentación son el más simple de todos los diseños para el control de la contaminación atmosférica. Son captadores que dependen de la inercia o gravedad para la captación de partículas. Ambas fuerzas se incrementan en proporción directa al cuadrado del diámetro de la partícula. El límite de validación de estos equipos es gobernado estrictamente por la velocidad de sedimentación de la partícula. El gran volumen de la cámara permite que el aire fluya a baja velocidad, dando tiempo suficiente para que las partículas sedimenten. En la cámara de polvo se precipita el polvo (fundamentalmente las partículas gruesas) bajo la fuerza de gravedad. Anteriormente las cámaras de sedimentación se utilizaban bastante a menudo para la purificación preliminar de los gases, en el caso de polvo grueso.

Actualmente su uso es muy limitado y las cámaras se utilizan al mismo tiempo para otros fines, por ejemplo para enfriar gases, reportado por (Díaz y González, 2016)

Coincidiendo con (Nivelo y Ugalde, 2011)**.** Consiste en introducir el aire contaminado a una cámara de dimensiones considerables, especialmente diseñada, en la cual, la velocidad de desplazamiento de las partículas que se movilizan con el aire, por acción de la gravedad, se depositan en la parte inferior de dicha cámara Estas cámaras son eficientes, cuando se manejan partículas en suspensión cuyo diámetro sea superior o igual a las 1000 micras, y cuya densidad sea relativamente alta.

## 2.3.2 Extracción de polvo a través de separadores centrífugos.

Sistemas de captación donde las partículas son separadas de la corriente gaseosa por fuerza centrífuga, son probablemente los sistemas de extracción de polvo más utilizados en la industria. Son de construcción simple, pueden ser de varios materiales y sin límites de temperaturas. Son separadores centrífugos, su principal ventaja es la utilización en batería y su principal desventaja es que su eficiencia decrece con la disminución del diámetro del polvo y no capta las partículas pequeñas. La fuerza centrífuga sobre las partículas en una corriente de gas girando, es mucho mayor que la fuerza de gravedad, por eso los ciclones son efectivos en la captación de partículas mucho más pequeñas que las cámaras de sedimentación y requieren menor espacio para un mismo volumen de gas. Por otro lado la caída de presión y la potencia requerida son mayores. Cuando están presentes partículas grandes en cantidades considerables, y son muy duras, las paredes del ciclón pueden ser erosionadas por estas.

Los ciclones separan las partículas de una corriente gaseosa, transformando a esta última en un vórtice, arrastrándolas en forma de espiral hacia el fondo del ciclón. El mecanismo involucrado en estos sistemas, es el continuo uso de la inercia producida por un movimiento tangencial sobre las partículas hacia las paredes del colector. (Díaz y González, 2016)

Se basan en la acción de la fuerza centrífuga sobre la partícula. Están formados por un cuerpo principal cilíndrico-cónico, donde los gases son alimentados tangencialmente. Al interior del equipo se forman dos vórtices: uno periférico (descendente) y otro central (ascendente). Las partículas más pesadas son lanzadas hacia las paredes, depositándose en la parte inferior del cono. El resto del gas forma un vórtice central, que circula hacia arriba y sale por la parte superior del cilindro*.*

La principal ventaja de los ciclones radica en su gran sencillez de construcción y bajos costos de instalación, operación y mantención; además, permiten recuperar los sólidos secos. Sin embargo, pueden sufrir deterioro debido a la circulación de sólidos abrasivos a alta velocidad, y presentan una baja eficiencia de remoción para granulometrías pequeñas (menores de 10 μm).(Zaror, 2000)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **SÓLIDOS REMOVIDOS (% EN PESO)** | |
| **Tamaño de Partícula** | **Ciclón Convencional** | **Ciclón de alta eficiencia** |
| < 5 μm | < 10 % | 40-70 % |
| 5-20 μm | 50-60 % | 80-95 % |
| 20-40 μm | 80-95 % | 95-99 % |
| > 40 μm | 95-98 % | > 99% |

Tabla 3 : Comparación de la capacidad de separación entre ciclones convencionales y de alta eficiencia.(Zaror,2000)

Captadores de polvo de celosías (ranuras).

En estos captadores el flujo de gas con polvo que se mueve en el gasoducto choca con una celosía que consiste en varias placas inclinadas. Al contornear las placas, los chorros de gas cambian bruscamente la dirección del movimiento, se trasladan al otro lado de la celosía y continúan el movimiento. Las partículas de polvo al encontrar las placas de la celosía, por inercia tratan de conservar la dirección original de movimiento; no contornean la placa sino chocan contra su superficie, se reflejan en el sentido opuesto al movimiento del gas, de nuevo se vuelven a la dirección de la corriente de gas y chocan contra la siguiente placa.

Captadores de polvo reflectivos de inercia.

El flujo de gas con polvo, al chocar con un objeto lo contornea y las partículas de polvo o gotas que tienen mayor inercia, pueden quedarse sobre la superficie con que chocan, por ejemplo en las cámaras de polvos con barras. Este es el fenómeno utilizado como base para los captadores de gotas reflectivos. Consta de unas bandas verticales de forma cóncava (reflectores) montadas en orden escaqueado en varias filas entre dos tablas horizontales dentro de un cuerpo cilíndrico. El gas entra desde abajo y fluye en dirección horizontal a través de las filas de bandas cambiando muchas veces la dirección del movimiento. Las gotas de líquido se pegan a las bandas y se acumulan en el colector. (Díaz y González, 2016)

**2.3.3** **Extracción del polvo por vía húmeda (lavadores de gas)**

Los lavadores de gas, captadores por vía húmeda, son torres huecas o con empaques por las cuales pasa el gas y se introduce el líquido filtrante. Los lavadores de gas en su sección horizontal pueden ser redondos o cuadrados. Generalmente se utilizan para captar partículas superiores a 5 μm (las duchas captan sólo partículas gruesas). Son aptos para trabajar con gases y partículas explosivas o combustibles y/o de alta temperatura y humedad.

Captadores de polvo de barboteo y de espuma.

En los barboteadores los gases en forma de burbujas pasan a través de una capa de líquido de un espesor de 50-100 mm y más. Con velocidades pequeñas, el tamaño medio de burbujas es de 3-7 mm. En ellos la zona de barboteo se forma por la masa principal de líquido; el volumen de gotas y espuma es pequeño. Al crecer la velocidad de los gases se forman tres zonas de distribución de líquido en el barboteador. La zona inferior o zona de barboteo, es una capa de líquido a través de la cual pasan las burbujas de gas. Luego va la zona de espuma y la superior es la zona de gotas. En la capa de espuma donde hay una amplísima superficie de contacto entre el líquido y el gas, el polvo y las impurezas químicas gaseosas se captan con mayor intensidad que en la zona de barboteo. Por esta razón aunque la capa de espuma es de pequeña altura, esta tiene una influencia decisiva para los procesos en el barboteador.

Captadores de polvo rápidos (turbulentos).

Los captadores de polvo rápidos tienen un equipamiento sencillo y de pequeño tamaño y el mantenimiento es fácil. El principio de funcionamiento es el siguiente: el agua introducida en la corriente de gas con polvo que fluye a una velocidad alta, se desintegra en pequeñas gotas. La energía necesaria para la desintegración del líquido se genera por la velocidad del flujo de gas. El alto grado de turbulencia del gas contribuye a la desintegración del líquido y a los impactos entre las gotas y las partículas de polvo. Díaz y González (2016)

**2.3.4 Lavadores con líquido (*scrubbers*)**

Estos equipos se basan en la eliminación del material particulado, mediante el uso de un líquido absorbente. Cualquier compuesto gaseoso que sea soluble en dicho líquido, también puede ser removido de la corriente gaseosa principal. Ello representa una ventaja sobre los sistemas de depuración secos. Además, no presentan limitaciones debido a la presencia de compuestos combustibles y explosivos, y tienen mayor tolerancia a variaciones de la temperatura del gas. Sin embargo, la principal desventaja se debe a la generación de un residuo líquido que contiene el contaminante removido del gas. En general, los costos globales de tratamiento utilizando estos sistemas son altos cuando se requiere una alta eficiencia de depuración.

Los diferentes diseños varían de acuerdo a la forma como se efectúa el contacto entre la corriente gaseosa que contiene el material particulado y el líquido lavador. Entre estos se destacan:

* Torres de aspersión: El líquido se alimenta en la parte superior en forma de lluvia, el que entra en contacto en contracorriente con el gas que circula hacia arriba. Generalmente, gran parte del líquido se recircula. Mientras menor sea el tamaño de las gotas de líquidos, mayor es el área de contacto, con una mayor eficiencia de remoción de partículas sólidas. Se puede remover eficientemente partículas de pequeño tamaño, en el rango 1-2 μm.
* Lavadores ciclónicos: El gas se alimenta en forma tangencial, en forma similar a los ciclones secos. El agua de lavado se alimenta en forma de pequeñas gotas desde la parte superior del equipo (o desde los lados hacia el centro). De este modo, se combina el efecto de la fuerza centrífuga y el impacto entre el sólido y el líquido.

- Lavadores inerciales (Venturi):El gas se hace pasar a través de una contracción donde aumenta su velocidad. En el punto donde la velocidad alcanza un valor máximo, se inyecta agua de lavado, la que se dispersa en múltiples gotas de pequeño tamaño, generando una gran área de contacto. El material particulado choca violentamente con las gotas de agua. La eficiencia de depuración depende directamente de la velocidad del gas, la que se debe mantener al máximo valor posible. Este tipo de lavadores tiene una mayor eficiencia de remoción de material particulado que los otros diseños, alcanzando valores superiores a 99% para partículas de 1 μm y 90-95% para tamaños menores de 1 μm. Debido a la gran pérdida de carga que se produce, los costos de operación son más altos que para los otros tipos de lavadores

Los Lavadores de Gas tipo Venturi 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 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 éste modo, la cantidad de agua a filtrar es menor.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.

## 2.3.5 Extracción de polvo a través de filtros de tela (filtro de mangas).

Una unidad de filtro de tela consiste en uno o más compartimientos aislados que contienen filas de bolsas (mangas) de tejido. El flujo de gas sucio viaja en dirección perpendicular a la superficie del medio filtrante, por lo que las partículas son retenidas en el mismo, y solo atraviesa la tela el aire limpio que es liberado a la atmósfera. El filtro se opera cíclicamente en el que se alternan períodos relativamente largos de filtración y cortos de limpieza. Durante la limpieza el polvo que ha aumentado en cantidad, está alejado de la superficie del tejido y viaja hacia un depósito para la disposición subsiguiente. Los filtros de tela retienen partículas de tamaños que van desde el submicrón a varios cientos de micras de diámetro a eficiencias generalmente superiores al 99%. La capa de polvo (torta) retenida en el tejido es la principal responsable de tan alta eficiencia, ya que es una barrera con poros que entrampa partículas entre sí. La temperatura máxima de operación está determinada por el tipo de tela y se encuentra alrededor de 260 °C y la mayoría de la energía requerida por el sistema es utilizada para vencer la caída de presión ocasionada en las mangas (sistema de succión) con su respectiva limpieza; los valores típicos de caída de presión se encuentran en el rango de aproximadamente 1,25 a 5 kPa.

Se usan los filtros de tela cuando se requiere alta eficiencia de captación y sus limitaciones son impuestas por las características del gas (temperatura y corrosividad), características de las partículas (físicas y químicas) y funcionamiento.

Son ampliamente utilizados a escala industrial. El gas se hace circular a través de la unidad filtrante, donde los sólidos quedan retenidos. A medida que la operación transcurre, se forma una película de sólidos que incrementa la capacidad de filtración, pero que aumenta progresivamente la pérdida de carga. Por lo tanto, los filtros deben ser limpiados periódicamente, ya que una vez que se colmatan, la pérdida de carga puede ser 10 veces mayor que la del filtro limpio.

Los sistemas de limpieza incluyen: Sistemas mecánicos por vibración, uso de aire en contracorriente y choques de aire comprimido. Generalmente, los filtros se diseñan en módulos separados, de modo que algunos mantengan su operación, mientras otros se someten a limpieza. Como medio filtrante, se utilizan filtros de fibras naturales (lana, algodón) y fibras sintéticas (poliéster, polipropileno, poliamida, PVC, fibra de vidrio). Los factores que determinan su selección son: costos, permeabilidad al aire, resistencia mecánica, resistencia contra ácidos y álcalis, hidrofobicidad y resistencia a altas temperaturas.

Se puede lograr altas eficiencias de depuración, llegando a remover el 100% de las partículas de 1 μm. Además, se recupera el producto seco y no se generan efluentes líquidos.

Sin embargo, su uso está restringido por las altas temperaturas (generalmente, hasta un máximo de 250ºC para la fibra de vidrio) y los peligros de explosiones e incendios en el caso de polvos de alta combustibilidad.

**2.3.6 Proceso de extracción a través de Precipitación electrostática**

Se basa en la acción de un campo eléctrico sobre las partículas sólidas cargadas eléctricamente. Las partículas son cargadas mediante una corriente de electrones que circula entre los electrodos por efecto corona, gracias al alto voltaje existente entre ellos (del orden de 60 kvolts DC). Las partículas son atraídas hacia electrodos colectores, donde se depositan y separan del resto de la corriente gaseosa. Son altamente eficientes para remover partículas de tamaño pequeño, incluso menores de 1 μm y presentan mínimas pérdidas de carga. Puede recolectar más del 99% de las cenizas de los gases de combustión.

|  |  |
| --- | --- |
| **TAMAÑO DE PARTÍCULA** | **EFICIENCIA DE REMOCIÓN** |
| < 5 μm | 70-80 % |
| 5-20 μm | 95-99 % |
| 20-40 μm | 100 % |
| > 40 μm | 100 % |

Tabla:4 Efecto del tamaño del material particulado sobre la eficiencia de los precipitadores electrostáticos. (Zaror, 2000)

Si la cantidad de finos es muy grande, es conveniente instalar primero un ciclón antes del precipitador electrostático, para reducir la acumulación de material particulado al interior del equipo. Los precipitadores electrostáticos son muy caros y tienen costos de operación elevados, debido a los altos requerimientos de energía eléctrica. Finalmente, este tipo de equipos no es recomendable cuando se tiene presencia de compuestos combustibles o explosivos.

Este proceso consiste en el uso de un equipo de muy alta eficiencia que funciona al ionizar las partículas contaminantes, posteriormente éstas pasan entre unas placas con carga contraria a la de la ionización por lo que se adhieren a éstas

Cuando las placas se encuentran impregnadas con los contaminantes son descargadas y sacudidas para que los contaminantes caigan a una tolva inferior. Los precipitadores electrostáticos son los equipos más eficientes para el control de partículas de menos de 0.2 micras con eficiencia superior a 99%, su caída de presión es muy baja y pueden manejar grandes volúmenes.

Un precipitador electrostático(ESP por sus siglas en inglés), o un filtro de aire electrostático es un dispositivo que remueve partículas de un gas que fluye (como el aire) usando la fuerza de una carga electrostática inducida.

Los precipitadores electrostáticos son dispositivos de filtración altamente eficientes, que pueden remover fácilmente finas partículas como polvo y humo de la corriente de aire.

El precipitador más básico contiene una fila de alambres finos, seguido por pilas de placas planas de metal espaciadas aproximadamente 1 centímetro. La corriente de aire pasa a través de los espacios entre los alambres y después atraviesa el apilado de placas.

Una fuente de alto voltaje transfiere electrones de las placas hacia los alambres, desarrollando así una carga negativa de varios miles de voltios en los alambres, relativa a la carga positiva de las placas. Mientras que la materia de partículas atraviesa la fuerte carga negativa de los alambres, la materia de partículas toma la carga negativa y se ioniza. Las partículas ionizadas entonces pasan a través de las placas cargadas positivamente, siendo atraídas por éstas placas

Una vez que las partículas están en contacto con la placa positiva, entonces ceden sus electrones y se convierten en partículas cargadas positivamente como la placa, y comienzan a actuar así como parte del colector. Debido a este mecanismo, los precipitadores electrostáticos pueden tolerar grandes cantidades de acumulación de residuo en las placas de recolección y seguir funcionando eficientemente, puesto que la materia por sí misma ayuda a recolectar más materia de la corriente de aire.

La falla del precipitador usualmente solo ocurre una vez que se haya formado en las placas una acumulación muy pesada de material. La acumulación puede llegar a ser bastante pesada como para bloquear la circulación de aire, o puede ser bastante densa como para ocasionar un corto circuito al permitir que la corriente atraviese el aislamiento. (Esto típicamente no daña la fuente de alimentación, pero detiene efectivamente la precipitación electrostática adicional).

Los precipitadores electroestáticos continúan siendo dispositivos excelentes para el control de muchas emisiones de partículas industriales, incluyendo el humo de instalaciones de generación eléctricas (alimentados por carbón o aceite), recolección de torta salina de los calentadores de licor negro en las plantas de pulpa de celulosa y recolección del catalizador de las unidades de conversión catalítica de lecho fluidizado en las refinerías, por nombrar algunos.

Estos dispositivos tratan volúmenes del gas de varios cientos de miles de ACFM (pies cúbicos por minuto actuales, por sus siglas en inglés) a 2.5 millones de ACFM en las aplicaciones de caldera más grandes (alimentadas por carbón)

La placa paralela original - el diseño cargado del electrodo ha evolucionado a medida que nuevos diseños del electrodo de descarga más eficientes (y robustos) han sido desarrollados. Hoy en día estos desarrollos se han concentrado en electrodos de descarga rígida a los que se adhieren muchas púas puntiagudas, maximizando la producción de la corona.

Los sistemas del transformación - rectificación aplican voltajes de 50-100 kilovoltios en las densidades relativamente de gran intensidad. Los controles modernos reducen al mínimo el chisporroteo y previenen la formación de arcos, evitando daño a los componentes. Los sistemas automáticos de golpeo y los sistemas de la evacuación de la tolva quitan la materia de partículas recogida mientras que están en línea, permitiendo que ESP’s permanezca en funcionamiento por años a la vez.

### Precipitador electrostático húmedo

La precipitación electrostática es típicamente un proceso seco, pero el rocío de agua ayuda al flujo entrante a recoger partículas excepcionalmente finas, y ayuda a reducir la resistencia eléctrica del material seco entrante para hacer el proceso más efectivo.

Un precipitador electrostático húmedo combina el método operacional de un depurador mojado con el de un precipitador electrostático para hacer auto-limpieza, auto-lavado aún con un dispositivo de alto voltaje.

## 2.3.7 Ventajas y desventajas entre los dispositivos para el control y remoción de polvos

Posterior a toda la revisión bibliográfica realizada pueden resumirse las siguientes ventajas y desventajas entre los dispositivos que pueden emplearse el control y remoción de las emisiones de polvo

## Precipitador electrostático

## Ventajas

* Elevada Eficiencia de recolección para partículas gruesas y finas incluso menores de 1 μm,
* Recolección en seco
* Tratan grandes volúmes d gases con Bajas caída de presión
* Diseñados para operación continua con requerimientos mínimos de mantenimiento
* Operar a altas presiones o al vacío
* Pueden operar a altas temperaturas
* Capacidad para manejar en forma eficiente velocidades de flujo de gas relativamente altas
* Bajo requerimiento de personal para su manejo.

Desventajas

* Alto Costo de operación debido a los altos requerimientos de energía eléctrica.
* Elevado costo pudieno ser los más caros.
* Muy sensible a cambios en las condiciones de la corriente gaseosa, especialmente el flujo, la temperatura, la composición del gas y las partículas (con su respectiva carga)
* Ciertas partículas son difíciles de recolectar debido a características de resistividad relativamente altas o bajas
* Se requieren espacios grandes para su instalación
* Riesgo de explosión al recolectar partículas o tratar gases combustibles
* Se requieren medidas especiales de seguridad para proteger al personal de una descarga
* Durante la ionización del gas, se produce ozono, por la descarga del electrodo cargado negativamente
* Se requiere personal de mantenimiento altamente capacitado

## Filtros de *mangas*

**Ventajas**

* Alta Eficiencia de recolección de partículas gruesas y finas, llegan a remover el 100% de partículas de 1µm
* La eficiencia y caída de presión casi no se ven afectadas por cambios grandes en la carga de entrada de polvo, para filtros que se limpian continuamente.
* Bajos costos de inversión.
* En muchos casos, el aire de salida del filtro se puede recircular a la planta.
* Se recupera el material seco para su aprovechamiento.
* Por lo general, la corrosión y oxidación de las partes no es problema.
* Existe una amplia gama de configuraciones de filtros, que se ajutan a los requerimientos de la instalación y la industria.
* Operación relativamente sencilla.

## Desventajas

* Su limitante es la temperatura de operacón que oscila en los 260° C, cuando exceden los 288 °C requieren material refractario especial o telas metálicas costosas
* Algunos tipos de polvos requieren telas tratadas.
* Las concentraciones de algunos polvos en el colector constituyen un riesgo de incendio o explosión si penetran chispas o llamas por accidente; existe la posibilidad de quemar las telas si se recolectan polvos fácilmente oxidables.
* Requerimientos de mantenimiento relativamente altos (reemplazo de las mangas, etc.)
* La condensación de humedad y componentes alquitranados adhesivos pueden causar taponamiento o agrietamiento de la tela, o requerir aditivos especiales
* La caída de presión es del orden de 1.25 a 5 kPa

## Lavadores de gases

**Ventajas**

* Logran remover cualquier compuesto gaseoso y partículas solubles en el líquido absorbente ≥ 5µm con una alta eficiencia (a expensas de una elevada caída de presión)
* No son fuentes secundarias de polvo
* Requerimientos de espacio relativamente pequeños
* No presentan limtaciones con compuestos combustibles y explosivos.
* Mayor toleracia de la corriente de gas a altas temperaturas y con alto contenido de humedad
* Bajo costo de capital y mantenimiento (si no requiere PTR)

## Desventajas

* Generación de residuales líquidos (lodos).
* Problemas de corrosión más graves que los sistemas en seco
* Caídas de presión y requerimientos de potencia pueden ser elevados
* Acumulación de sólidos en la interfase húmeda – seca puede ser un problema
* Costos de mantenimiento relativamente alto
* Costo de operación altos por concepto de energía para el bombeo del líquido
* Elevadas pérdidas de carga.

## Separadores centrífugos

**Ventajas**

* Alto nivel de eficiencia con partículas de entre 5 a 1000 micras.
* No existen limitaciones con flujos húmedos.
* Bajo costo de construcción, operación y manenimiento.
* Caídas de presión relativamente bajas (2 – 6 in de agua)
* Limitaciones de temperatura y presión impuestas exclusivamente por los materiales de construcción utilizados
* Recolección final del material en seco
* Requerimiento de espacio pequeño

## Desventajas

* + - Baja Eficiencia de remoción para granulometría pequeñas (partículas ≤ 10 µm )
    - Incapacidad para manejar materiales pegajosos
    - Sufren deterioros a altas velocidades de circulación de polvos abrasivos

## Cámaras de sedimentación

**Ventajas**

* No existen limitaciones en flujos de temperaturas elevadas.
* No existen limitaciones con flujos húmedos.
* Empleo de baja cantidad de energía.
* Recolcción del material en seco

Desventajas

* Muy baja eficiencia de remoción para partículas ≤ 50 µm.
* Alta necesidad de mantenimiento.
* Caída de presión de flujo, considerable.
* Alto costo de capital y operacional.
* Requiere gran área para su instación.

1. Resultados y discusión:

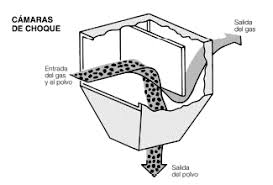
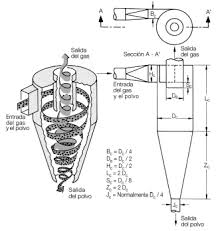
**Propuesta de instalación del sistema de Filtración de gases y polvos en la Planta de Asfalto Giraldo Pacheco con la utilización de un filtro de mangas**

Después de realizar el estudio exhaustivo de los diferentes tipos y principios de funcionamiento de los sistemas para la extracción y remoción de los polvos en los procesos industriales y considerando los aspectos señalados en el diagnóstico elaborado a la planta de producción de hormigón asfáltico y los reportes de los pronósticos de la calidad del aire realizados en el entorno de la Planta de Asfalto de Villa Clara, se propone y define que la filtración mediante la instalación de un filtro de mangas es el método más eficiente para la remoción de emisiones de las partículas menores de 10 µm el cual garantiza un nivel mínimo de emisión de polvos a la salida de la chimenea y así cumplir las exigencias de la norma vigente NC: 39/1999 referida a la calidad de aire, además incluye la ventaja de recuperar el material en seco para su aprovechamiento en el propio proceso sin gastos adicionales en suministro de agua ni tratamiento de efluentes líquidos .

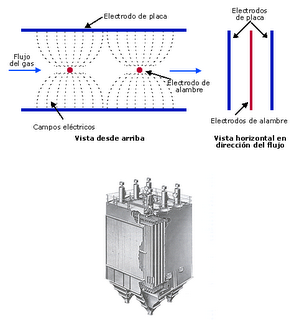
En el cuadro comparativo que se muestra a continuación se resumen, como uno de los resultados de este trabajo, las principales características de estas tecnologías para la extracción y remoción de los polvos.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| MÉTODO DE SEPARA  CIÓN DE PARTÍ  CULAS EQUIPOS | PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS | | | | |
| EFICIENCIA DE RECOLECCIÓN | LIMITACIONES DE TEMPERATURAS | CAÍDA DE PRESIÓN | CONSUMO DE ENERGÍA | COSTO DE INVERSIÓN Y MANTENIMIENTO |
| APROVECHAMIENTO  DE LA FUERZA  DE GRAVEDAD  CÁMARAS DE  SEDIMENTACIÓN Y  SEPARADORES  INERCIALES: Figura 4 | Muy baja para partículas ≤ 50µm | No existen limitaciones. | considerable | Muy bajos | Alto costo inicial y alta necesidad de mantenimiento |
| SEPARADORES CENTRÍFUGOS/  Ciclones,  filtros de  celosías,  filtro de inercia  Figura 5 | Bajas principalmente para partículas ≤ 10µm | Dependen únicamente de los materiales de construcción. | Relativamente bajas (2-6 in de agua) | Bajo | Bajos |
| SEPARADORES POR VÍA HÚMEDA/      LAVADORES  De GASES  Ciclón húmedo,  Lavador venturi).  Figura 6 | Alta entre el 90 y 99 % para partículas ≥5 µm | No existen limitaciones. | Alta | Alto | Relativamente altos costos de inversión y mantenimiento si requiere de PTR para el residual fangoso que se genera.) |
| SEPARADORES  POR VÍA SECA/  FILTROS  DE  MANGAS  [Figura](#_Figura_3:_Filtro) 7 | Alta para todo tipo de partículas y eficiencia aceptable para partículas de hasta 0.01µm | La temperatura máxima está determinada por el tipo de tela las ≥288°C requieren filtros metálicos o material refractario especial. | Encuentran en el rango de 1,25 a 5 kPa | Bajo | Bajos costos de inversión y el mantenimiento relativamente alto por el reemplazo de las mangas. |
| SEPARADORES POR CARGA ELECTROSTÁTICA    **ESP** [Figura](#_Figura_3:_Filtro) 8 | Elevada para partículas gruesas y finas incluso logra separar las menores de 0.1µm se utilizan en la eliminación de humos y neblinas. | Pueden soportar altas temperaturas ≥ a450°C | Mínima ( ≤ 0.5 in de agua) | Alto | Elevado costo de inversión y se necesita personal altamente capacitado para su mantenimiento |

Tabla 5: Comparación entre los diferentes dispositivos para la extracción y remoción del polvo. (Elaboración propia)



### Figura 4: Cámara de Choque Figura 5: Ciclón

****

**Figura 6: Lavadores de gases**

****

### Figura 8: Precipitador electrostático

**Figura 7: Filtro de Mangas**

1. **Conclusiones y sugerencias:**
2. La revisión bibliográfica y los métodos teóricos empleados sobre el proceso de filtración de polvos utilizado en el sector empresarial, demuestra la necesidad e importancia de evitar la emanación del mismo a la atmosfera, permitiendo aplicar los conceptos más modernos de la ingeniería ambiental y sus procesos tecnológicos.
3. Los resultados del diagnóstico de la situación actual que existe en la Planta de Asfalto “Giraldo Pacheco” de Santa Clara, demuestran la evidencia de contaminación ambiental por emisión de polvo y partículas menores de 10 µm que afectan el entorno y la salud y economía empresarial.
4. Se evaluaron los tipos y principios de funcionamiento de diferentes sistemas para la extracción y remoción del polvo que se utilizan en el sector industrial.
5. De acuerdo con la evaluación y la comparación de los diferentes dispositivos que se emplean para la extracción del polvo y en función de los resultados del diagnóstico desarrollado en la planta, se propone la utilización del de mangas como equipo para la extracción del polvo en la planta de asfalto “Giraldo Pacheco” de Santa Clara, capaz de remover las partículas que exige la norma actual.

**Sugerencias**

1. Determinar las dimensiones del filtro de mangas que se propone en función del volumen y composición del polvo a filtrar.
2. Evaluar la reutilización del polvo que se recolecta para incorporarlo al propio proceso u otras industrias afines.
3. **Referencias bibliográficas.**
4. Díaz y González (2016). *Diseño de un filtro de mangas para el sistema de depuración de gases de una acería eléctrica.* Reportede investigación. [Universidad Tecnológica de la Habana, José Antonio Echeverría](https://www.researchgate.net/institution/Universidad_Tecnologica_de_la_Habana_Jose_Antonio_Echeverria). Cuba.
5. Díaz, R (2007). *Caracterización elemental de las partículas suspendidas menores a 2.5 micrómetros y su riesgo a la salud en la zona metropolitana de la Ciudad de México.* (Tesis doctoral). México
6. Fernández, E (2008). *Mejoras en la eficiencia de los colectores de polvo tipo jet pulse y precipitador electrostático*. (Tesis de grado), Perú.
7. <https://es.wikipedia.org/wiki/Polvo>
8. Mészáros, E. (1999). *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry*. Akadémiai Kiado.
9. NC 39:1999 Sistema de Normas para la Protección del Medio Ambiente. Atmósfera.
10. Nivelo y Ugalde, (2011). *Diseño de un sistema de extracción de polvo para la empresa INSOMET (división TELARTEC, productora de telas de poli-algodón); perteneciente al Grupo Empresarial Gerardo Ortiz Cía. Ltda*. Tesis de grado. Ecuador
11. Núñez, V. (2011). Informe de los resultados de los pronósticos de la calidad del aire en el período octubre-diciembre del 2011.
12. Núñez,V.(2014). *Metodología de diagnóstico técnico ambiental en fuentes fijas industriales para prevenir y mitigar los Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica y el impacto a la salud humana.* Tesis doctoral. Cuba
13. Soto et al. (2017). *Evaluación de las fuentes de emisiones contaminantes en plantas de mezclas de asfalto en caliente*. México
14. Yassi A, Kjellstrom T, de Kok T, Guidotti. *Salud Ambiental Básica* (versión al español realizada en el INHEM). México DF. PNUMA. 2002.
15. Zaror,C.A(2000). *Introduccion a la ingenieria ambiental para la industria de procesos*, Chile.