



Diseño de un Captador de Polvo de filtración seca para
la Fábrica de Ladrillo La Capilla en Sogamoso
Boyacá.

Oscar Giovanni Leon Pinto

21131615280

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2023

Diseño de un Captador de Polvo de filtración seca de para la Fábrica de Ladrillo La Capilla en Sogamoso Boyacá.

Oscar Giovanni Leon Pinto

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero electromecánico

Directora:

Ing. Esp. Mercy Tatiana Villate Fonseca

Línea de Investigación:

Materiales y Diseño Mecánico.

Grupo de Investigación:

REM – Research in Energy and Materials

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Sogamoso 14 Abril 2023.

Contenido

	Pág.
Lista de figuras	5
Lista de tablas	7
Dedicatoria	4
Agradecimientos	4
Resumen	5
Abstract	6
Generalidades	9
1.1 Estado del Arte	9
1.2 Historia sobre colectores de polvo.....	11
1.3 Colector húmedo.....	13
1.4 Filtración seca.....	14
2. Marco Teorico	15
2.1 Colector de polvo.....	15
2.2 Entrada y Distribución De Flujo	17
2.3 Velocidad De Filtración	18
➤ Au	18
2.4 Canastillas	19
2.5 Fijación De Las Mangas	20

2.6	Factores que afectan el buen funcionamiento de las mangas.	22
2.6.1	Aumento de temperaturas.....	22
2.6.2	Humedad.....	23
2.6.3	Comportamiento químico.	23
2.6.4	Concentración de MP.	24
2.6.5	Alta velocidad de flujo.	24
2.6.6	Limpieza inapropiada.	24
2.6.7	Diámetros en cuellos incorrecto.	25
2.7	Selección de material filtrante.	25
2.8	Venturi.	27
2.9	Tolva de descarga.	28
2.10	Válvulas descarga.	29
2.11	Cámara limpia.....	29
3.	Historia de la planta las fabrica de ladrillos en la ciudad de Sogamoso.....	31
3.1	Carbón térmico	37
3.2	Carbón coque.....	38
4.	contexto geográfico	39
5.	metodologia	42
5.1	Condiciones y variables del horno de cocción.	42
5.1.1	Temperatura del horno.....	42
5.1.2	Material particulado (MP) emitido	45
5.1.3	Combustibles usados	49
5.2	Consideraciones para el Diseño del colector de polvo	50
5.2.1	Levantamiento de planos de la planta.....	50
5.3	Diseño de ductos.....	51
5.4	Selección de mangas y sus accesorios – cantidad y tipo de material textil.	53
5.5	Sistema de evacuación.....	55

<i>Datos de fabricación de válvula pendular doble:</i>	56
5.6 Selección de ventilador.....	57
5.7 Selección de accesorios requerida en el captador de polvo.....	58
5.7.1 Válvulas de purga	59
5.7.2 Unidad de aire comprimido	59
5.7.3 Tubos de pulsión o distribución de aire comprimido	59
5.7.4 Mangueras y conectores	60
6. Conclusiones.....	65
7. Anexos.....	66

1. Lista de figuras

Figura 1: Colector industrial	12
Figura 2 : Funcionamiento de colector tipo húmedo	13
Figura 3: Funcionamiento colector de filtración seca.....	14
Figura 4: partes principales colector de polvo	16
Figura 5: distribución de flujo.....	17
Figura 6: canastilla porta manga	19
Figura 7: tipos de canastillas.....	20
Figura 8: funcionamiento Venturi.....	27
Figura 9: tolva de descarga	28
Figura 10: partes principales del ventilador.....	30
Figura 11: Emisiones Sogamoso.....	34
Figura 12: coque	38
Figura 13: mapa general de Sogamoso	40
Figura 14: ubicación de zona mayor influencia.....	40
Figura 15: área de trabajo Ladrillera La Capilla.....	41
Figura 16: pirómetro infrarrojo TKTL 10 SKF	42
Figura 17: Toma de Temperatura	43
Figura 18: seguimiento de temperatura.....	44
Figura 19: Mediciones La capilla Sogamoso.....	45
Figura 20: Calibración de equipo.....	46
Figura 21 chimenea punto de medición	47
Figura 22 bosquejo planta La Capilla Sogamoso	50

Figura 23: Plano Planta.....	51
Figura 24: válvula pendular doble	56

2. Lista de tablas

Tabla 1: calidades de materiales filtrantes	26
Tabla 2 : seguimiento de temperatura.....	45
Tabla 3: Emisiones horno la capilla de Sogamoso	48
Tabla 4: condiciones de la chimenea Ladrillera La Capilla Sogamoso	48
Tabla 5: Resultado isocinético Ladrillera la Capilla de Sogamoso	49
Tabla 6: especificaciones físicas de la tela filtrante.....	53
Tabla 7. Especificaciones químicas de tela filtrante.....	54
Tabla 8: Tratamiento a trabajo.....	54
Tabla 9: especificaciones técnicas de válvula pendular.....	57
Tabla 10: especificación técnica ventilador.....	58
Tabla 11: accesorios filtro.....	58
Tabla 12: especificaciones de filtro	64

3. Dedicatoria

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, mi esposa SANDRA MARCELA y mis hijos JUAN SEBASTIÁN, JULIAN DAVID por el sacrificio del tiempo de calidad que no pude compartir con ellos, pues el transcurrir de la carrera no fue fácil pero siempre estuvieron con su apoyo incondicional y poder culminar mi carrera profesional.

Agradecer a la empresa CEMENTOS ARGOS por el apoyo incondicional proporcionado para poder desarrollar mi carrera profesional y alcanzar mis objetivos propuestos con éxito de mi vida laboral.

Agradecimientos

“Quedo muy agradecido con la Ingeniera Mercy Tatiana Villate, directora de Tesis y director de la carrera, quien me ha brindado su apoyo, sabiduría, paciencia incondicional para el desarrollo y culmen de este proyecto de grado”

Agradecer a la fábrica de ladrillo La Capilla de la Ciudad de Sogamoso por facilitar el estudio para la ejecución y el desarrollo del proyecto.

4. Resumen

Dentro de la *fabricación de ladrillo* es necesario la operación de un horno, el cual es fundamental para la cocción de arcillas y poder obtener el producto final. Como un aspecto negativo generado dentro de la operación tenemos emisiones las cuales contienen *material particulado* (MP) el cual es emitido al medio ambiente afectando a la comunidad en general. Mediciones realizadas en la ciudad de Sogamoso arrojan un gran índice de *contaminación*, donde lo ubican como una de las ciudades más contaminadas a nivel nacional con una participación muy alta en este tipo actividad industrial, los entes reguladores han tomado una serie de medidas para poder mitigar este impacto generando conciencia dentro del sector alfarero, pero estas medidas han afectado significativamente a estos pequeños empresarios, donde tienen que modificar el tipo de mineral para poder realizar la combustión y pasar de utilizar de 100 % de carbón a la utilización de coque, por lo que su producción pasa de 3 a 8 días para obtener el producto final y poder obtener el ladrillo, otra medida tomada por los entes reguladores es la restricción de operación donde solamente pueden tener operación una semana al mes.

Con la realización de este trabajo se diseñara de un *captador de polvo*, controlando este tipo de emisión disminuyendo el impacto negativo además buscar una disposición final, aumentando su productividad, disminuyendo costos de producción, con el diseño del *colector* se presentaría una mejora en la fabricación obteniendo una reducción de MP.

5. Abstract

In the *manufacture of brick*, it is necessary to operate an oven, which is essential for the firing of clays and to obtain the final product. As a negative aspect generated within the operation we have emissions which contain *particulate matter* (PM) which is emitted to the environment affecting the community in general. Measurements made in the city of Sogamoso show a high rate of *pollution*, where they place it as one of the most polluted cities nationwide with a very high participation in this type of industrial activity, regulators have taken a series of measures to mitigate this impact by generating awareness within the pottery sector, but these measures have significantly affected these small entrepreneurs, where they have to change the type of ore in order to be able to burn and switch from 100 % coal to coke use, so their production goes from 3 to 8 days to obtain the final product and to be able to obtain the brick, another measure taken by the regulators is the restriction of operation where they can only have operation one week a month.

With the realization of this work will be designed of a *dust collector*, controlling this type of emission decreasing the negative impact in addition to seeking a final disposition, increasing its productivity, decreasing production costs, With the design of the *collector* would present an improvement in the manufacture obtaining a reduction of MP.

Keywords: brick making, particulate matter, pollution, dust collector, collector

INTRODUCCIÓN

Dentro de las principales actividades industriales que se realizan en la ciudad de Sogamoso se encuentra la fabricación de ladrillo, convirtiéndose en una de las más importantes en este mercado en todo el departamento de Boyacá, con más de 350 empresas que se dedican a esta actividad, [1] donde se ha venido pasando de generación en generación en las familias de este sector. Una de las problemáticas que genera esta actividad es la emisión de una cantidad considerable de material particulado según las mediciones de calidad del aire para la ciudad de Sogamoso, [2] afectando la calidad del aire, presentando deterioro de la capa de ozono y de la salud respiratoria de la población circundante por otro lado el desarrollo en la ciudad mediante esta actividad del sector alfarero aportando una gran participación económica en el desarrollo de la ciudad de Sogamoso. [2]

Mediante mediciones ambientales realizadas en la ciudad, la huella ecológica por la emisión CO₂ identifica una gran afectación ambiental que causa esta actividad, según estas mediciones la afectación del medio ambiente en la ciudad de Sogamoso por la fabricación de ladrillo tiene una participación del 84.75 % en las emisiones de CO₂ [5]

En la fabricación de ladrillo es común la emisión de material particulado debido a los requerimientos del proceso para culminar el producto final [5]

Por lo tanto, en busca de una solución al impacto negativo generado en la fabricación de ladrillo, se diseñará un captador de polvo de filtración seca para la fábrica de Ladrillo La Capilla del sector alfarero de Sogamoso. Donde se cubrirá las necesidades específicas que

el proceso requiere, contribuyendo en la parte social, ambiental, económica y de salud evitando enfermedades generados por nitrato, dióxido nitrógeno que esta actividad industrial tiene presencia en la ciudad de Sogamoso

Por otro lado, darle un aumento de producción a estas empresas dándole la opción de aumentar las horas de trabajo y bajando su presupuesto en el producto final en la utilización de mineral más efectivos en el proceso.

Otro factor positivo para tener en cuenta a favor es el material particulado captado el cual puede ser reprocesado dentro del proceso de la fabricación de ladrillo, o puede ser usado y/o comercializado en otro tipo de industria al que puede ser beneficioso para su proceso y se generaría un beneficio económico.

Generalidades

5.1 Estado del Arte

En el transcurrir de los años, Sogamoso se ha convertido en un municipio donde se ha caracterizado por ser productivo industrialmente en diferentes actividades tales como, cementeras, ladrilleras, fabricación de acero, etc. A su vez estos tipos de procesos generan impactos positivos en el desarrollo económico y social de la ciudad, negativos en afectaciones ambientales.[1]

De estos impactos negativos podemos evidenciar en el diario vivir como es la contaminación que presenta el municipio, donde el material particulado afecta considerablemente la calidad del aire y por supuesto la salud de los habitantes del municipio, pero más directamente a las personas cercanas al área de influencia.

Además, alcanzando nivel de contaminación más altos de los municipios de Colombia convirtiéndose en el cuarto complejo industrial más contaminado.[2]

En los años de 1995 Sogamoso absorbía la mayor cantidad de emisión de material particulado y contaminante según planeación nacional con un promedio de 69 % toneladas anuales, superando a ciudades industrializadas como Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla, donde el 56% de esta contaminación en la ciudad de Sogamoso, son de partículas emitidas eran generadas por el sector de la fabricación de ladrillo y la cocción de cal. [2]

Material particulado MP es producto de los mismos procesos, es la adición de micropartículas de determinado material en el ambiente muchas veces es generados en los procesos donde se debe realizar combustión y en nuestro caso puntual lo encontramos en la fabricación de ladrillo. [4]

Por parte de la entidad encargada de realizar el seguimiento este tipo de actividades ambientales, y realizar las debidas regulaciones es Corpoboyacá, donde se ha realizado diferentes acciones para mitigar la emisión de material particulado en la ciudad, pero no se ha realizado un control eficaz de este tema, puesto que el solo el tener que producir estaría realizando el impacto negativo generado por las emisiones de material particulado. [5]

Un factor que se puede evidenciar y que aumenta la generación de MP, es la utilización del carbón en la producción del ladrillo, el cual es uno de los mayores contaminantes, debido a esto se toma la decisión por parte de la entidad oficial Corpoboyacá, es de realizar la utilización de coque ya que este no emite tanto material particulado como si lo hace el mismo carbón térmico por sus características, un factor negativo para los pequeños empresarios, es que la cocción con este producto se demora alrededor de los 7-8 días mientras (dependiendo de la calidad del coque) a diferencia del carbón térmico su producción tardaba un promedio de 3 días y el valor de inversión ya que precio de carbón coque aumenta \$600.000 respecto al valor del valor del carbón térmico el cual oscila entre \$ 180.000 y los \$ 200.000 tonelada. [6]

Otra de las acciones para disminuir la contaminación del municipio de Sogamoso, es el tiempo de disponibilidad de operación de estas pequeñas empresas, las cuales la entidad oficial Corpoboyacá se realiza un inventario de las empresas existentes y este número lo dividen en 4, las cuales son distribuidas en las semanas que cuenta un mes y que concuerdan con el tiempo estimado de producción del ladrillo.

Se ha sabido por parte de la gobernación de Boyacá la iniciativa para desarrollar un tipo de control o de mejora con el proceso para disminuir la contaminación generada por esta actividad. [4]

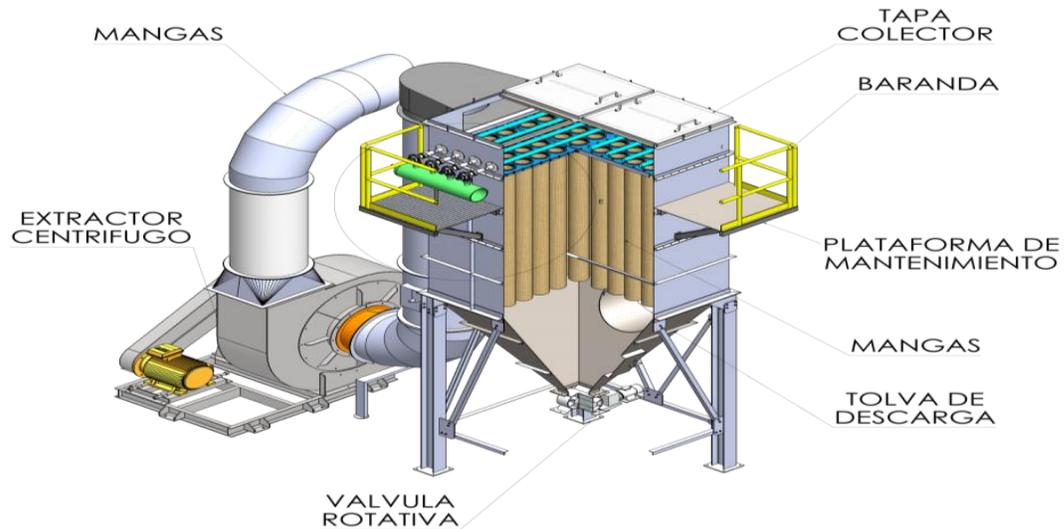
5.2 Historia sobre colectores de polvo.

Un sistema de captación de material particulado busca un mejoramiento en cuanto a lo que refiere a la calidad de aire, este sistema es muy utilizado en la parte industrial, que debido a las condiciones del mismo proceso se genera MP y otro tipo de contaminante que puede llevar los gases emitidos, este sistema su principal función es realizar la separación de volúmenes altos de gases, y realizar la separación de contaminantes que pueda traer para que pueda ser emitido al ambiente, donde podemos encontrar varios sistema pero su principio en esencia es el mismo.

El origen de este tipo de sistema se lo debemos a Wilhelm Beth de Lubeca. [7] el colector de polvo fue diseñado para mantener en control los polvos generados en las diferentes actividades industriales o que generen cualquier tipo de polvillo para mitigar cualquier tipo de afectación que pueda generar al medio ambiente, higiene y bien estar de las personas. Es importante realizar la selección correcta para garantizar su eficiencia y así mismo no generar costo adicional. Principalmente el captador de polvo es usado en materiales sólidos y en las diferentes actividades industria que tengan interacción con estos componentes.[7]

Dentro de las operaciones normales su equipo trabaja de manera sistemática y se facilita todo al no requerir un operador o supervisión, y su mantenimiento no requiere de trabajo especializado, cuando se realiza un diseño optimo según las necesidades este trabaja con eficiencia al 99%. [7]

Figura 1: Colector industrial



Fuente: funcionamiento de colectores

Para que un sistema de captación de polvo tiene debe contar con captación, colector y descargue para disponer el material.

Lo primero que se debe hacer para implementar un colector es la información de base para poder realizar una evaluación de las características con las que debe tener en cuenta para el diseño como el tipo de material a colector, la velocidad de los gases a los que se realizara la separación y su ubicación geográfica para determinas las variables para tener en cuenta y poder garantizar su eficiencia para optimizar costos de montaje y mantenimiento. [7]

Los prototipos de colectores existentes en la industria son:

5.3 Colector húmedo

Figura 2 : Funcionamiento de colector tipo húmedo



Fuente: funcionamiento de colectores

Este tipo de colector su principal funcionamiento se da mediante la succión del material particulado realizando la filtración mediante agua convirtiéndola en lodo para disponerlo posteriormente y poderlo reprocesar de igual manera realizan los gases y partículas además tienen un método de control de temperatura unas de sus ventajas serian la neutralización de gases corrosivos y mezclas que pueden ser explosivas.[8]

5.4 Filtración seca

Figura 3: Funcionamiento colector de filtración seca



Fuente: funcionamiento de colectores.

Los gases que provienen del proceso con MP, se ve obligado pasar mediante el elemento filtrante quedando adherido en las paredes de este el MP, mediante pulsos de aire comprimido sacude de manera secuencial el elemento filtrante desprendiendo el MP cayendo en la tolva para se dosificado mediante el mecanismo con que cuenta el equipo (el que sea adecuado teniendo en cuenta las características del polvo captado), luego de realizar la limpieza el aire limpio sale, dentro la filtración seca podemos encontrar colectores de diferente sistema de limpieza de los elementos filtrantes como lo son por medio de mecanismo mecánico mediante un motor realiza una vibración sacudiendo lo elementos filtrante o podemos encontrar los pulse-jet donde el sistema de limpieza se da mediante pulsos programados de aire para realizar la limpieza. [8]

6. Marco Teorico

6.1 Colector de polvo

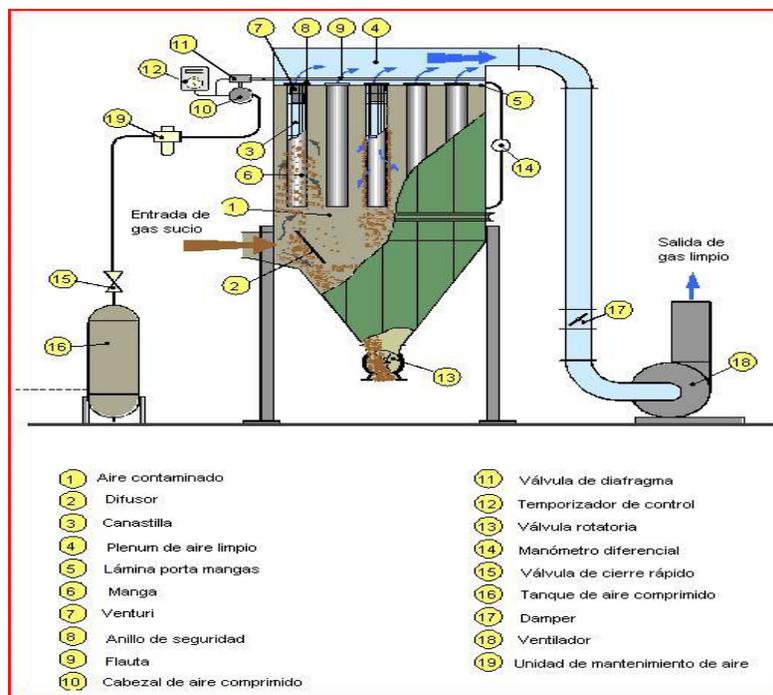
La forma estructural del colector se divide en secciones las cuales está constituido en cámara limpia en la parte superior, la cámara sucia en la cual se alojan las mangas y se realiza la separación de material particulado de los gases la cual está ubicada en el centro de la estructura, y en la parte inferior se encuentra tolva de almacenamiento del material separado para finalmente darle una disposición final, las secciones descritas anteriormente cuenta con una separación mediante una lámina para que sean independientes una de la otro y garantizar la hermetización al momento de captar el material, la cámara limpia y poder garantizar la ausencia de las emisiones.

Los gases contaminados ingresan al captador de polvo pasando por deflectores los cuales van a absorber la velocidad mediante un impacto directo en estos para distribuir el aire y poder tener una desaceleración, al obtener esto las partículas más pesadas van a tener caer al final de la tolva por la fuerza gravitacional, para su posterior disposición fuera del colector. Las demás partículas las cuales tiene un cuerpo más fino es dirigido hacia la cámara de aire limpio para que se realice el filtro quedando el material particulado más fino en los elementos filtrantes como son las mangas, y el aire limpio circula en dirección a la cámara limpia y finalmente llega a la atmósfera y el material llegue al final de la tolva.

Los elementos filtrantes (mangas), se realiza un barrido de limpieza en un determinado lapso, mediante disparos de aire comprimido que se realiza en la cámara limpia. Las flautas llamadas por su forma física, cilíndrica con orificios en su cuerpo mediante los cuales salen los pulsos de aire los cuales son dirigidos a la parte internas de las mangas para poder realizar la limpieza su ubicación se encuentra formando filas sobre cada manga.

Un segundo método de limpieza es con un mecanismo mecánico, el cual cuenta con un sistema de vibración sobre cada fila de mangas las cuales sacuden las canastillas que portan las mangas en un orden aleatorio realizando la limpieza.[5]

Figura 4: Partes Principales Colector De Polvo

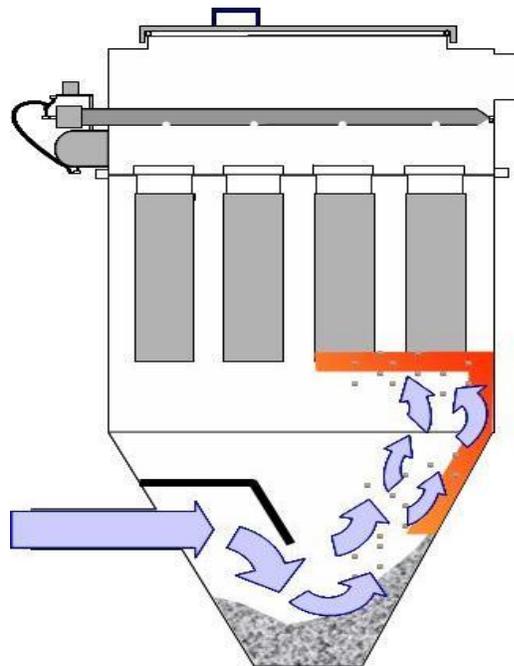


Fuente: funcionamiento de colectores.

6.2 Entrada y Distribución De Flujo

Para obtener repartición homogénea y óptima del flujo de gas, esto no garantiza que se cuenta con una óptima distribución del material particulado, pero poder tener una eficiencia del captador deben de ir de la mano la distribución del gas y el material particulado. Si no podemos realizar una distribución acorde a las necesidades vamos a tener problemas, como en la eficiencia del captador ocasionando que nuestro material filtrante se va a saturar mucho más rápido ocasionando que el barrido de limpieza se deba realizar con mucha más frecuencia aumentando el consumo de aire, obligando el cambio de mangas más seguido por deterioro acortando su ciclo de vida útil.[8]

Figura 5: Distribución De Flujo



Fuente: funcionamiento de colectores.

La dirección del aire contaminado con MP, realiza desplazamientos cerca de la lámina de los muros de la tolva y en busca las canastillas ocasionando deterioro en los diferentes componentes con la que interactúan, esto inconveniente se convierte crítico cuando el espesor de las tolvas es delgado sufriendo desgaste por abrasión.

Para obtener un diseño que puede tener control sobre este factor negativo que se presenta, consiste en colocar deflectores de manera escalonada uniformemente y realizar una reducción de velocidad de los gases y obtener una mejor distribución del flujo de los gases.[8]

6.3 Velocidad De Filtración

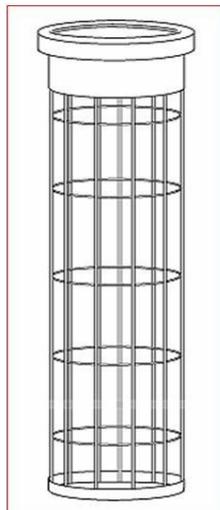
Esto va enfocado a la oposición al flujo que ofrece el manto de material formado, captado y alojado en el elemento filtrante y por la eficiencia del barrido de limpieza en elemento filtrante. Por la cual se convierte indispensable realizar seguimiento a los picos de aumento de la presión diferencial el cual es debido a:

- Aumento en la velocidad de filtrado
- Aumento en el grosor de la capa de polvo formada en el elemento filtrante
- Aumento en micras del MP
- Aumento del % de agua en MP
- Vida útil del elemento filtrante

6.4 Canastillas

La canastilla está diseñada en busca de la función para la secuencia de disparos de aire, los elementos filtrantes no sufran y mantienen la forma cilíndrica a lo largo de la misma con el que es diseñado. La estructura de la canastilla es básicamente elaborada con un alambrado, debe ser fabricado en una sola pieza para evitar cualquier alambre suelto que pueda afectar físicamente la manga y en un material que sea invulnerable a que sea carcomido por agentes químicos, estas cuentan con una figura tubular con aros de forma redonda en su recorrido del elemento filtrante con barras verticales para garantizar que mantenga su diseño tubular y poder alojar el elemento dentro de la canastilla. En el diseño de la canastilla se debe tener en cuenta los tamaños a utilizar, el grosor de las varillas que sea acorde a las dimensiones por lo partículas el material a utilizar es galvanizado, electrozincada, silicona orgánica y acero inoxidable 316 [8]

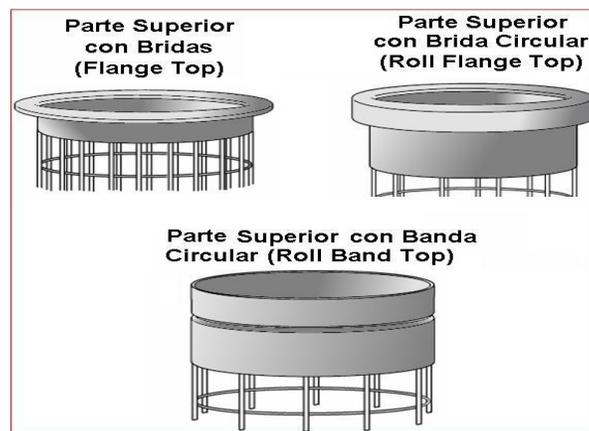
Figura 6: canastilla porta manga



Fuente: funcionamiento de colectores.

Por lo particular los elementos filtrantes cuentan con \varnothing menores a 170mm, y cuentan con un conjunto de varillas verticales que varían entre 9-12; y elementos filtrantes cuentan con \varnothing mayores a 210mm, cuentan con 16 a 20 varillas. [8]

Figura 7: tipos de canastillas



Fuente: funcionamiento de colectores.

6.5 Fijación De Las Mangas

Las mangas deben estar aseguradas mediante una lámina la cual cuenta con orificios donde irán alojados los elementos filtrantes, esto se encuentra en la sección de arriba de la cámara de limpieza. Dentro del diseño no se tiene contemplado que la manga tenga que soportar el peso que pueda ofrecer la canastilla por ende la lámina donde irán

alojadas las mangas. Las mangas deben estar siempre fijas garantizando que no se suelten durante la operación.[9]

Criterio para tener en cuenta para la selección para la tela de filtrado Mangas.

Las mangas son básicamente talegos cosidos donde su función principal es la separación de MP de los gases captados, y según sus condiciones y características.

La selección del material apropiado que debe ser utilizado en el elemento filtrante, dependerá a las condiciones y características del proceso, las dimensiones que se requieren y se deben confeccionar con estrictas normas de calidad para garantizar la efectividad del colector. [9]

En el fondo de la manga cuenta con un aro textil con refuerzo en doble capa de tela para impedir el rompimiento por fricción ocasionado en el proceso, en la parte superior cuenta con un fleje en acero que al expandirse, realiza sello con la lámina donde se alojan las canastilla, la clase de manga que cuenta con este sistema, se llaman auto fijantes dentro de la fabricación de las mangas se realiza con triple hilo del mismo material de la manga para aumentar su confiabilidad dentro de la operación.

Las principales funciones de la tela son

- Captar el polvo
- Realizar la filtración del aire limpio
- Permitir la formación de pre-capa
- Condescender el desprendimiento de material
- Ser lo suficientemente fuerte para resistir el choque de la corriente de aire sucio y la abrasión causada por el polvo y la velocidad con el que este llega

- Resistir la temperatura del proceso por tiempo prolongado sin que presente desgaste o pérdidas de resistencias
- Resistencias a la humedad tanto de forma gaseosa como en formas de gotas cuando no hay condensaciones
- Resistir a las condiciones químicas que en las operaciones se puedan presentar como temperatura, humedad la producción de ácidos o álcalis
- Conducir la electricidad para evitar la formación de cargas electroestáticas

El material utilizado que nos otorga una gran efectividad es fieltro punzonado, con una triple costura para y/o pegue por temperatura. [8]

6.6 Factores que afectan el buen funcionamiento de las mangas.

6.6.1 Aumento de temperaturas

La mayoría de los materiales reaccionan de manera muy parecida cuando se ven presentadas altas temperaturas, que las recomendadas según el diseño empiezan a debilitarse, perdiendo resistencias a la tensión, flexión y abrasión hasta perder sus propiedades y llegar al punto de convertirse en quebradizas, por otro lado se ven expuestas a que partículas incendiarias que las puedan afectar físicamente perforándolas y provocando la ausencia de su eficiencia o en la peor de las situaciones que la incinere.[9]

6.6.2 Humedad

Podemos tener alteraciones en las fibras sintéticas cuando aparece solas, pero cuando se encuentra en presencia de otros componentes como la temperatura, acidez y alcalinidad llegan a generar una degradación llamada hidrólisis en lo que se convierte en pérdida de resistencia llegando en algunos casos de pulverización de material textil. Cuando el material es algo absorbente conservando la humedad haciendo que ocasionando comprima sobre la tela ocasionando taponamiento y/o daño en el elemento filtrante. [9]

6.6.3 Comportamiento químico.

La variedad de productos químicos es muy grande y difícil de evitar las consecuencias en las mangas, dentro de la industrias es frecuente encontrar condiciones acidas o alcalinas y los daños que causen depende de material usado y de la concentración cuando estas es controlada, causa perdidas de resistencias y aun con fibras resistentes a algunos de estos productos concentración de aire mayor del diseño cuando los filtro se sobrecargan es decir que pasa más aire calculado en el diseño o se trabaja con mangas taponadas esto produce desgaste prematuro y aumenta la emisión de MP particulado a la atmosfera, concentración de aire mayor del diseño. [9]

6.6.4 Concentración de MP.

Cuando tenemos presencias altas de MP en el sistema de captación obtenemos el aumento de las presiones en todo el sistema de polvo se puede determinar el aumento de las presiones del sistema, obteniendo una capa muy gruesa de material donde se convierte en un factor negativo para lograr la limpieza de los elementos filtrantes, realizando un desgaste prematuro donde se presentan fugas de material particulado. [9]

6.6.5 Alta velocidad de flujo.

Cuando tenemos una alta velocidad de flujo obtenemos un desgaste en las mangas, permitiendo el paso de MP generación y emisión de material particulado para esto es muy importante en el diseño de la instalación de deflectores que bajen la velocidad del flujo. [9]

6.6.6 Limpieza inapropiada.

Una limpieza deficiente podemos tener taponamiento en las telas, impidiendo el correcto flujo de gas, de igual manera producirá aumentos en la presión, canastillas en mal estado, cuando las canastillas estas oxidadas presenta imperfecciones en su construcción física, con puntas cortantes producen daños prematuros en la vida útil de las mangas dado por la fricción que están realizan al paso del aire.[9]

6.6.7 Diámetros en cuellos incorrecto.

Un incorrecto diámetro en los cuellos nos puede ocasionar el correcto ajuste en el sello de la manga con respecto de la lámina donde se aloja las mangas, presentando perforaciones o generando arruga, por lo que genera un desgaste prematuro permitiendo el paso de MP generando emisión de material particulado.[9]

6.7 Selección de material filtrante.

Podemos observar dos tipos de textiles para el componente filtrante, el tejido y el no tejido. Textil tejido, dado por su porosidad debido para Una guía establecida para la fabricación, y por otro lado el material fieltro, tiene una porosidad infinita esto se debe a una guía establecida, además a esto en este tipo de material se ve afectado por factores como la velocidad de filtración. Otro criterio que se debe tener en cuenta es la temperatura que maneja el proceso para saber a cuál se someterá y estará expuesta, el tipo de MP captado químicamente para ser lo más eficiente y tengan la durabilidad adecuada y se deterioren por tema del material captado [9]

Para escoger el material textil se debe tener en cuenta que es fundamental para la operación correcta y eficiente de captador de MP.

A partir de escoger el material textil podemos hacerlo de manera correcta el cual nos va ser más eficiente o de manera errónea lo cual nos presentara inconvenientes en la operación de equipo como tal para esto debemos considerar:

- Barrido de limpieza a utilizar
- % de agua a trabajar
- T°
- Constitución fisicoquímica del MP y gas
- Desgaste producido por el material captado
- Se debe garantizar que cumpla con algunas características:
- Alta permeabilidad, para menores pérdidas
- Diseño para aguantar grandes esfuerzos
- Cuenta con gran capacidad al momento de presentar cambios T°
- No pierde su forma

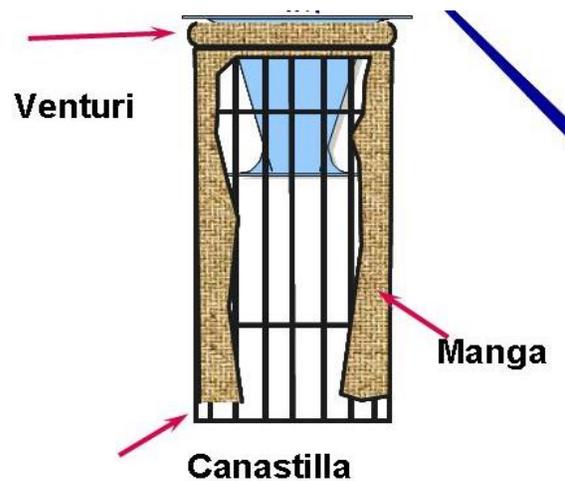
Tabla 1: calidades de materiales filtrantes

VARIABLES	POLIÉSTER	ACRÍLICO	FIBRA DE VIDRIO	NOMEX	RYTON	P84
T° MÁXIMA DE OPERACIÓN	134°C	140°C	259°C	190°C	190°C	259°C
ABRASIÓN	EXCELENTE	BUENO	REGULAR	EXCELENTE	BUENO	REGULAR
ABSORCIÓN DE ENERGÍA	EXCELENTE	BUENO	REGULAR	BUENO	BUENO	BUENO
PROPIEDADES DE FILTRACIÓN	EXCELENTE	BUENO	REGULAR	EXCELENTE	MUY BUENO	EXCELENTE
CALOR HÚMEDO	POBRE	EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO	EXCELENTE	BUENO
HIDROLISIS						
ALCALINOS	REGULAR	REGULAR	REGULAR	BUENO	EXCELENTE	REGULAR
ÁCIDOS MINERALES	REGULAR	BUENO	POBRE	REGULAR	EXCELENTE	BUENO
OXIGENO 15%	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	POBRE	EXCELENTE
COSTO RELATIVO	X	XX	XXX	XXXX	XXXXX	XXXXX

6.8 Venturi.

El Venturi es un componente completo en un captador de polvo de tipo pulse-jet. El cuál es el encargado de dirigir los pulsos de aire comprimido, centrándolo para que su disparo sea eficiente dándole confiabilidad a las mangas evitando el desgaste tanto de la canastilla como de la manga ocasionado por una mala alineación en las flautas, siendo eficiente al realizar la limpieza de las mangas optimizando el consumo de aire en cada barrido de limpieza. [10]

Figura 8: funcionamiento Venturi



Fuente: funcionamiento de colectores.

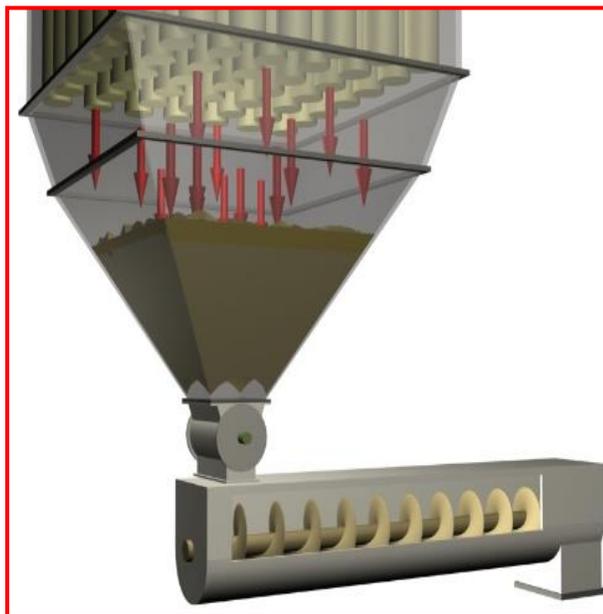
El Venturi con alguna imperfección, no será eficiente para el sistema de limpieza debido los pulsos de aire no alcanzará la velocidad necesaria para realizar una limpieza eficaz y no dará la dirección de este ocasionando problemas secundarios. [13]

6.9 Tolva de descarga.

En esta parte es necesario obtener un sistema eficiente para a poder almacenar el material a pesar de que sea hermético en los diferentes diseños se encuentra la acumulación de material por las puntas rectas por lo que se recomienda que estas esquinas sean redondeadas para evitar la acumulación de material.

Otro problema frecuente es en la reducción de la descarga ocasionando acumulación y taponamiento por material esto se debe tener en cuenta en el momento de realizar el diseño, se debe utilizar lamina anti desgaste de 5/16 para garantizar su durabilidad y evitar deformaciones o perforaciones prematuras[10]

Figura 9: tolva de descarga



Fuente: funcionamiento de colectores.

6.10 Válvulas descarga.

Al final de sistema del captador de polvo podemos encontrar el mecanismo de evacuación de material para esto se debe utilizar un sistema que permita la dosificación del material y cumpla la función de sello para evitar la entrada de aire falso al momento de evacuar el material captado. Existen sistema de evacuación como válvulas rotatorias y las pendulares de acuerdo con la necesidad requerida por el proceso y a sus condiciones específicas de trabajo.

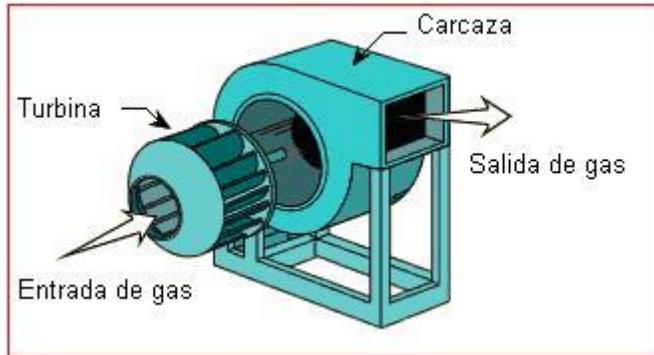
Hay que garantizar el buen funcionamiento de esta parte del sistema realizando el Mantto a los componentes verificando el deterioro en aletas y carcasa el recorrido de las pendulares debe ser libre. Si presenta un forzamiento en la válvula podría generar acumulación de material dentro de la tolva. [10]

6.11 Cámara limpia

La cámara limpia es diseñada y debe tener una condición como lo es que debe contar con el espacio requerido para realizar el cambio de las mangas las cuales debe tener la altura para poder retirar las canastillas y tener el espacio para que el personal de Mantto pueda acceder. Tiene sus restricciones al contar con una sola compuerta, pero se debe garantizar la hermetizarían para evitar las entradas de aire falso. [11]

6.12 Ventilador

Figura 10: partes principales del ventilador



Fuente: ventiladores industriales.

El ventilador se convierte en el equipo principal del sistema que realiza la succión de los gases y debe tener la capacidad necesaria para vencer resistencias que ofrece atravesar los ductos y el mismo sistema del captador. [15]

Para el trabajo de los colectores de polvo es muy utilizado los ventiladores centrífugo por sus características de trabajo, pero también existen los ventiladores axiales.

Un ventilador centrífugo está constituido con una turbina con un determinado número de aletas alrededor de un impeler. El aire es succiona e impulsado a 90° . Este tipo de ventilador es muy utilizado porque tiene la capacidad de alcanzar altas presiones por lo que se convierte en lo idóneos para la captación de material particulado. [15]

Para tener control del flujo necesario para el sistema se cuenta un dámper el cual tendrá la función de dosificar el flujo de gas sin tener que esforzar el equipo en condiciones que no sean necesarios y dependiendo de su posición ya sea entrada o salida este controlará el flujo y/o la capacidad de trabajo del colector. [11]

3. Historia de la planta las fabrica de ladrillos en la ciudad de Sogamoso

El municipio de Sogamoso se encuentra geoméricamente ubicado en el centro-oriente del departamento de Boyacá es el municipio de cabecera de la provincia de Sugamuxi, y está a más de 220 km de la capital de Colombia y 76 km de la capital del departamento, cuanta con una altitud de 2.569m y cuenta con un T° promedio de 18 °C

Donde la económica de Sogamoso se enfoca en el comercio departamental con los llanos orientales y al centro del país, su mayor actividad es centralizada en la siderúrgica en materiales para la construcción, explotación minera como caliza, carbón etc.

Departamento Nacional de Planeación (DNP) según datos obtenidos de estudios preliminares a la prevención y control de la contaminación del aire. Según los resultados, el 51% de los habitantes de Colombia establece que la contaminación del aire es la principal dificultad ambiental a la que se ve enfrentado el país y la cual se debe de dar un manejo adecuado, y esto se ve reflejado en las principales ciudades del país como los son Medellín Cali y Bogotá con el 74, 49 y 45 por ciento respectivamente. [16]

Dentro de la problemática a trabajar, es muy notorio y se percibe en la ciudad de Sogamoso Boyacá, debido que sus índices representan un alza en cuanto a contaminación, el foco de estos índices es debido a empresas cementeras, siderúrgicas y a las diferentes actividades industriales que cuenta el municipio y las cuales son el principal movimiento financiero de este el estudio se enfocara en puntos específicos de contaminación, es decir las principales industrias como: Acerías Paz del Río, Cementos Argos y Cementos Holcim, también algunas chircales y hornos de calizas más cercanos a la ciudad. [17]

Hace poco tiempo en el cielo del municipio de Sogamoso, en Boyacá, se podía observar neblina permanente, todos los días estaba allí, como si ya fuera parte del paisaje, pero esos nubarrones blancos no se trataban de neblina sino era el resultado de la contaminación, a consecuencia de la operación de 350 hornos artesanales de ladrillo y cal existentes dentro del municipio de Sogamoso y Nobsa.[18]

La estadística basada en la última década, en las poblaciones de la provincia de Sugamuxi encabezado por Sogamoso, Firavitoba, Tibasosa, Nobsa, Aquitania, Tota, Cuitiva y Monguí obteniendo como resultado en el desarrollo de las actividades industriales siderúrgicas, metalmeccánicas, cementeras, ladrilleras y caleras. [18]

Pero a pesar de los esfuerzos realizados por una producción responsable, siendo más amigable con el medio ambiente y su entorno por parte de Industrias y empresas en las cuales se destacan las cementeras como Argos, Holcim, las siderúrgicas, sideral Acerías Paz del Río, Hornasa además de Bavaria e Indumil las cuales se encuentra en la provincia del Sugamuxi situándose dentro de las 3 ciudades más contaminadas del país. [19]

Y según estos estudios, la fabricación de ladrillo y teja de proceso artesanal generaban el 56 por ciento de la contaminación en la ciudad de Sogamoso, según Corporación Autónoma Regional de Boyacá, Corpoboyacá. [17]

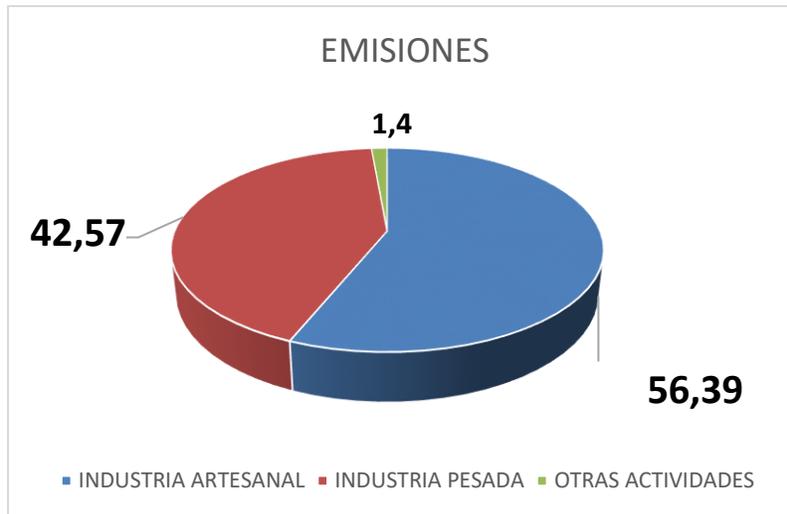
Las mediciones para determinar la acumulación de MP en el medio ambiente de la provincia medían 62 microgramos/metro cúbico, teniendo en cuenta que los parámetros máximos permisibles son de 50 microgramos/metro cúbico. Y como atenuante que la provincia de Sugamuxi lleva bastante tiempo con esta contaminación en el medio ambiente.[20]

El tema de control y la reglamentación para la vigilancia en cuanto a la contaminación ambiental que se rige CONPES 3344, para estar al tanto demuestra que el 41% de las emisiones contaminantes su principal foco es de las interacciones de combustibles fósiles aportando considerablemente a este índice para que no sea positivo, y este porcentaje se segmenta en 8 amplios centros industriales distribuidos en el país, teniendo participación el municipio de Sogamoso.[21]

La ciudad de Sogamoso registra 350 hornos de ladrillo, dividiéndose la mayoría entre pequeñas y medianas empresas artesanales de fabricación de ladrillos. por otro lado, la actividad minera es la que aporta notablemente al incremento de la contaminación en la ciudad, donde se sacan minerales como carbón, caliza etc. [18]

Los efectos a la presencia de MP que se pudo determinar en las diferentes mediciones realizadas a la ciudad de Sogamoso y la mala calidad de aire que respiramos los ciudadanos son las enfermedades presentadas por los habitantes. [13]

Figura 11: Emisiones Sogamoso



Fuente: mediciones alcaldía Sogamoso.

El monitoreo realizado para determinar la calidad del aire ha hecho realidad por los puntos instalados para realizar el seguimiento por el ente gubernamental del departamento (Corpoboyacá), donde una de las estaciones arroja mayores concentraciones de PM10 en el recreo barrio de Sogamoso. [13]

Durante años la fabricación de ladrillos en la ciudad de Sogamoso ha impactado negativamente a la parte ambiental de la ciudad por la contaminación en la emisión de material particulado los cuales afecta no solamente en la salud de las habitantes de la región si no de llevar a Sogamoso a ser una de las ciudades más contaminadas del país como lo indica las cifras e indicadores.[22]

Una de las partes que intervienen sobre la problemática la autoridad ambiental cumple con un papel importante ya que es el encargado de llevar el control y el seguimiento mediante las normativas impuestas sobre la calidad del aire y primordial del trabajo de la

gobernación local como lo es la alcaldía de Sogamoso para generar y reforzar los programas de control sobre estas empresas artesanales y sigan los lineamientos establecidos en la regulación mediante la normatividad ante esta temática es la resolución No. 0001 de 2003 expedida por el ente gubernamental, donde determina las conveniencias del uso de carbón coque en la fabricación de ladrillos artesanal, disminuyendo el uso de carbón térmico para esta actividad; pero a pesar de esta normatividad no es cumplida al 100% debido y las diferentes falencia evidentes en la diferentes políticas ambientales a nivel nacional, departamental y local presta al aumento del índice de contaminación ambiental presentado en las últimas décadas. La afectación ambiental atmosférica es la primordial fuente de riesgo para la salud en el mundo estadística de la salud 2016 estableciendo que la temática de la contaminación en el medio ambiente y la mala calidad de este, siendo uno de los factores de muertes en el mundo donde 1 de 9 muertes en todo el mundo tiene que ver con el tema ambiental.[23]

Los componentes que afectan el medio ambiente los cuales tienen mayor presencia es el MP con \varnothing de 10 μm que son de un nivel de peligrosidad muy alto por su tamaño ingresando fácilmente a los pulmones realizando estragos al sistema de defensas que cuenta el órgano principal del sistema respiratorio.[24]

La gran parte de estas impurezas que afectan el medio ambiente es producida por la quema de combustibles fósiles, la cuales varían según su calidad. La organización mundial de la salud y sus lineamientos direccionan a 20 kg/m^3 para partículas 10 μm y 10 kg/m^3 de 2.5 μm después de estar interactuando por encima de estos parámetros pueden a ser letales para el ser humano basados en el mundo estadística de la salud 2005 con evidencia y

consecuencias sobre el deterioro de la salud de los seres humanos y contaminación medioambiental.[24]

Ante situación vivida y notoria en cuanto a contaminación en ciudad de Sogamoso se toman decisiones determinantes para poder tener control sobre esto por parte Corpoboyacá teniendo un acercamiento con el sector alfarero.[23]

Donde se realiza una sensibilización a los productores del sector mostrando las afectaciones que esta actividad está generando a la región y las normas que se deben cumplir donde las decisiones y acciones deben ser radicales evidenciando la preocupación por parte de los productores debido que esto es el sustento de ellos y de sus familias donde se ha pasado de generación y no tienen otra entrada u opción a desarrollar.

La regulación implantada da unos lineamientos para la producción de hornos artesanales para la fabricación de ladrillo y cal indica la modificación del proceso adecuando ducto donde se debería conducir los gases; el uso de carbón coque realizando el cambio de combustible y por último lugar de operación debe ser en lugares establecidos por POT [23]

Dentro de esta migración para poder acogerse a las exigencias e implementación a los requerimientos de la normativa que se regirá en el valle de Sogamoso se presenta el acuerdo entre 12 propietarios de ladrilleras para la instalación de una empresa que cumpla con la normativa requerida para la mitigación de emisiones y no verse tan afectados y poder invertir juntando capital, pero esta situación se era posible para una minoría de los pequeños empresarios [25]

De los más de 350 hornos artesanales de ladrillo y 200 de cal en la cabecera de la provincia de sugamuxi. Se acuerda un tiempo prudencial de seis meses para acogerse a la resolución. [25]

A partir de estas nuevas directrices en el año 2015 los 350 hornos artesanales migraron con filtros y migraron de carbón térmico al que se sustituyó por el carbón coque. Por otro lado, pequeños empresarios tomaron la iniciativa para consolidar una sola empresa que cumpliera los parámetros exigidos. Y debido a estas acciones la emisiones y concentraciones de MP en el medio ambiente cuenta con $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, estando por debajo de la normatividad 10 puntos.[25]

Y estas normativas están en busca de disminuir el porcentaje de emisiones de carbono en una década más, compromiso de la nación según el acuerdo de París

Una de la mejora realizada es la implementación y fabricación de horno holfman pero sin embargo a la gran ayuda realizada a la población en general del valle de Sogamoso los pequeño propietarios se han visto afectados ya que es una economía que mueve para su sustento, el de sus familias y del empleado que tiene que ver directamente con la fabricación de ladrillo puesto que la inversión del carbón coque como elemento de combustión es tres veces mayor que en la utilización de carbón térmico y no obstante en la parte económica se ven afectados en la producción de ladrillos ya que por sus características es mucho más volátil lo cual requiere de menor tiempo en la cocción de arcilla para obtener el ladrillo pasando de producción de 3 a 8 días [23]

3.1 carbón térmico

Carbón térmico Bituminoso, con un Alto índice volátil. Dentro de la industria se utiliza en las Termoeléctricas, en la Industria Cementera para la fabricación de Clinker, para la fabricación de ladrillos y como combustibles en las calderas para procesos industriales que requieren generación de vapor. [27]

3.2 Carbón coque

Figura 12: coque



Fuente: coque industrial

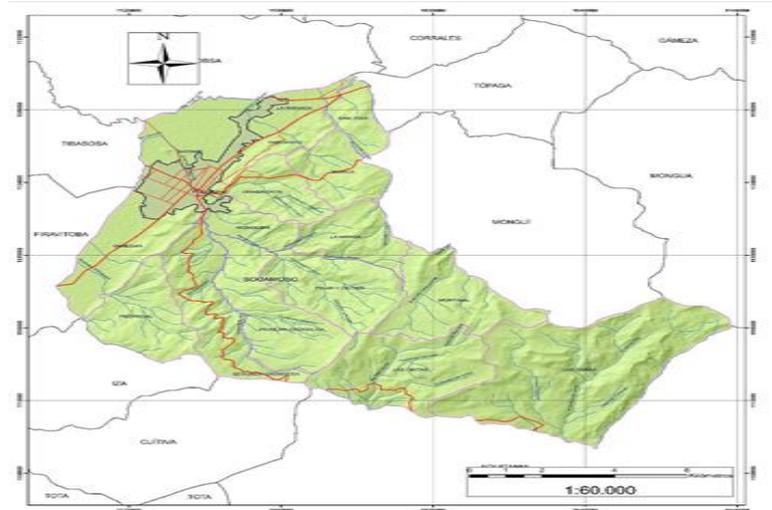
El carbón coque es un combustible sólido formado por la destilación de carbón bituminoso el cual se lleva a temperaturas de 500 a 1100 °C sin contacto con el aire. En este proceso se realiza la destilación, lo cual implica la eliminación del alquitrán, gases y agua. Este combustible o residuo se compone entre un 90 y un 95 % de carbono, donde el nitrógeno, oxígeno, azufre e hidrógeno están presentes en cantidades menores y por este motivo se convierte en una alternativa para la producción de ladrillo por las baja emisiones, pero por el proceso al que se interviene, su valor se incrementa con respecto al carbón térmico.[31]

4. contexto geográfico

En la ciudad de sol y del acero se encuentra ubicada en el centro-este del departamento de Boyacá, situándose en la parte este de la provincia de sugamuxi, en la región de alto de Chicamocha. El municipio se encuentra al norte con municipalidades de Nobsa y Tópaga; al este con Tópaga, Monguí y Aquitania al oeste con Tibasosa Fira e iza, al sur con Aquitania, Cuitiva e iza con las coordenadas: N = 1.109.000 –1.130.000 m: E = 1.122.000 – 1.145.000 m contando con 18 veredas y 74 barrios. [31]

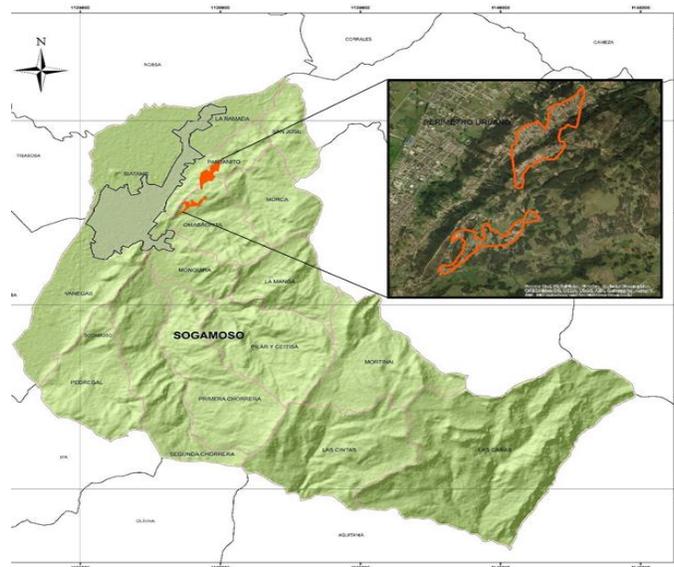
Respecto a la población de la provincia del sugamuxi donde cuenta con un poco más de 132 mil personas que corresponde al 9.2% de los habitantes del departamento, de los cuales el 79% habitando en zona urbana 117 mil personas y el 21% restante residen en la zona rural con un total de 27 mil personas. La altura del municipio está de 2.500 a los 4.000 m, el municipio cuenta con fuentes hídricas y sus dos ríos importantes; el Río Moniquirá y Río Chiquito, los cuales se encuentran bordeando entre la montaña los cuales hacen parte de Cordillera Oriental de los Andes.

Figura 13: mapa general de Sogamoso



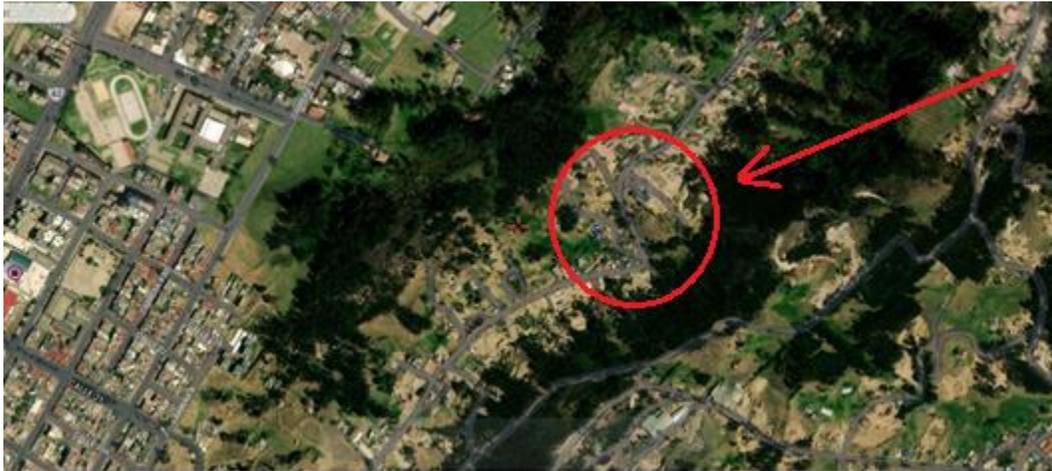
Fuente: Colombia en mapas.

Figura 14: ubicación de zona mayor influencia



Fuente: Colombia en mapas

Figura 15: área de trabajo Ladrillera La Capilla



Fuente: imagen satelital

5. metodología

5.1 Condiciones y variables del horno de cocción.

5.1.1 Temperatura del horno

Figura 16: pirómetro infrarrojo TKTL 10 SKF



Se realiza medición temperatura con pirometro infrarrojo 10 skf (vease anexo A) durante la cocción y la producción de ladrillo durante las diferentes etapas como lo es el encendido del horno, la cocción y la parte del enfriamiento, para esto se utiliza pirometro skf, el cual se cuenta con un orificio pequeño para dirigir el laser del pirometro para realizar las mediciones, se debe tener en cuenta las fases de temeparuta o lo que esto acurre dentro del proceso y las temperaturas requeridas para poder adquirir un producto que cumpla con las especificaciones de resistencias que se requiere el material.

Figura 17: Toma de Temperatura



Fuente: autoría

Dentro del proceso de quema de los ladrillos en hornos. Las arcillas mezcladas con arena que son sometidas a cocción pasan durante este proceso por complejas reacciones regidas por su composición química y mineralógica.

Dentro este material se cuenta agua absorbida el cual se debe desaparecer en temperatura de los 120 y los 200 °C esta eliminación de agua se debe realizar de forma gradual para evitar roturas en los ladrillos.

Entre los 200 y los 400°C se realiza la oxidación del material.

Entre los 450 y los 650 °C se modifica estructuralmente la arcilla eliminando por completo el H₂O de la constitución molecular dando un endurecimiento irreversible

Entre los 680 y 800 °C ocurre la des carbonatación (liberación del co₂)

La medición se realiza de manera diaria según podemos observar en el siguiente grafico

Figura 18: seguimiento de temperatura



Fuente: autoría

Tabla 2 : seguimiento de temperatura

		HORAS													
T °C	0	24	36	40	48	60	72	84	96	108	120	132	144	168	192
0	Yellow														
200		Yellow													
400			Yellow												
600				Orange											
800					Orange										
1000						Red									
1200							Red								
900								Red							
600									Orange						
550										Orange					
200											Yellow				
100												Yellow			
80													Yellow		
50														Yellow	
30															Yellow

5.1.2 Material particulado (MP) emitido

Figura 19: Mediciones La capilla Sogamoso



Fuente: autoría

Para poder conocer las concentraciones de MP suspendidas en el ambiente PM-10 y Material Particulado PM-2.5 de la fábrica de ladrillo la Capilla de la ubicada en la ciudad de Sogamoso, poder tener cifras de cómo es su comportamiento en los alrededores y que implicaciones puede tener en la sociedad de la ciudad Sogamoseña y poder determinar cuánto es su nivel de contaminación, se realiza un seguimiento con equipo de medición de gases de acuerdo con el procedimiento que se debe seguir para obtener los datos de emisiones, se realiza seguimiento durante la producción y/o cocción de ladrillo para poder determinar la cantidad de MP emitido y generado, para esto se utiliza analizador de gases testo 350 (ver anexo B). el cual podemos observar en la imagen, cuenta con una sonda la cual se ubica en la chimenea de salida del horno para tener una medición real del MP emitido antes de iniciar las mediciones se requiere de calibración del equipo y garantizar la efectividad de las mediciones realizado purga al equipo.

Figura 20: Calibración de equipo



Fuente: autoría

Figura 21 chimenea punto de medición



Fuente: autoría

Una vez obtenido los datos para ver el comportamiento de la combustión dentro del horno y analizando obtenemos CO, NO, NO₂, SO₂, H₂S, C_xH_y o CO₂. En la producción de la fabricación de ladrillo, de acuerdo con la metodología sugerida por EPA, del IDEAM, el horno se encontraba con una operación de 35 mil ladrillos de su capacidad total de 38 mil ladrillos. Se realiza verificación en el comportamiento de la salida de la chimenea para determinar la ausencia de turbulencia y/o condiciones anormales que se puedan presentar, para que las mediciones realizadas fueran las más confiables y no tengamos desviación por condiciones que puedan presentar al momento de realizar las mediciones, las mediciones se toman una en la mañana una sobre el medio día y por último en la tarde noche, se realiza durante 15 minutos lo que es lo recomendable, esta toma se realizó a diario durante la cocción de ladrillo, se introduce la sonda a la chimenea de forma horizontal para que los datos se los más reales posibles. Se realiza una calibración del equipo la cual se debe realiza

antes de cada medición para garantizar su confiabilidad de datos a recolectar, una vez realizada la calibración se realiza la toma de datos:

Podemos observar los resultados obtenidos en las emisiones de la fábrica de ladrillos

- PM2.5: MP inferior a 2.5 μ m.
- OC; carbón pulverizado.
- CO; Monóxido de carbono.
- SO₂; dióxido de azufre.

Tabla 3: Emisiones horno la capilla de Sogamoso

PM2.5		OC		CO		SO ₂	
\dot{X}	σ	\dot{X}	σ	\dot{X}	σ	\dot{X}	σ
926	115	602	76	16600	1760	2340	256

Nota :(*) \dot{X} promedio - σ incertidumbre

Tabla 4: condiciones de la chimenea Ladrillera La Capilla Sogamoso

PARAMETRO	ABREV.	HORNO	UNIDAD
DIÁMETRO EQUIVALENTE	(De)	0,2032	m
VELOCIDAD	(Vs)	9,7	m/s
TEMPERATURA DE GAS	(ts)	22,67	°c
HUMEDAD	(Bws)	5,1	%
PESO MOLECULAR SECO	(Md)	28,98	g/g mol

Tabla 5: Resultado isocinético Ladrillera la Capilla de Sogamoso

	PARÁMETRO	Resultado horno cámara Semicontinua – prueba ISO cinético de gases. (mg/m3)
		Testo 350
Medición Material Particulado (condiciones de referencia (25 ° 760 mm Hg) Combustible sólido)	Partículas en suspensión totales (TSP)	134
	Dióxido de azufre (SO ₂)	116
	Óxidos de nitrógenos (NOX)	23
	Ácido clorhídrico (HCL)	5
	Ácido fluorhídrico (HF)	12
	O ₂	17,60%
	MP - PM _{2.5}	26,8
	T° salida	38,67

5.1.3 Combustibles usados

Se determina el tipo de combustible y se cuantifica la cantidad requerida que se requiere para la producción en la fábrica de ladrillo la capilla de la ciudad de Sogamoso.

Para realizar la iniciación en la combustión del horno se requiere carbón térmico debido a sus características técnicas y su alto índice de volatilidad, facilitando el aumento en la curva de calentamiento y una vez se llegue a la temperatura requerida para que entre en acción el carbón coque, la cantidad de carbón térmico que se requiere para la producción de ladrillo en la fábrica la capilla de la ciudad de Sogamoso es de 2 toneladas a un costo de \$200.000 tonelada y 6 toneladas de carbón coque a un valor de \$ 800.000 tonelada.

Determinar la capacidad de trabajo del horno.

La capacidad del horno según la producción en óptimas condiciones, y el seguimiento realizado durante las mediciones a la fábrica de ladrillos la capilla en la

ciudad de Sogamoso, la capacidad de diseño del horno corresponde a 38.000 unidades de ladrillos al mes, pero debido al alza en costo de los combustibles, la calidad de estos implican una baja del 8% en la producción y en el tiempo de producción pasando de los 8 días permitido a 10-15 días infringiendo el permiso otorgado por Corpoboyacá.

5.2 Consideraciones para el Diseño del colector de polvo

5.2.1 Levantamiento de planos de la planta.

Se realiza las mediciones de las dimensiones del horno artesanal de la fábrica de ladrillos La Capilla de la ciudad de Sogamoso, y se realiza un levantamiento de planos de planta para determinar espacio y ubicación de este para la ubicación del colector se viable, (ver anexo C-D)

Figura 22 bosquejo planta La Capilla Sogamoso

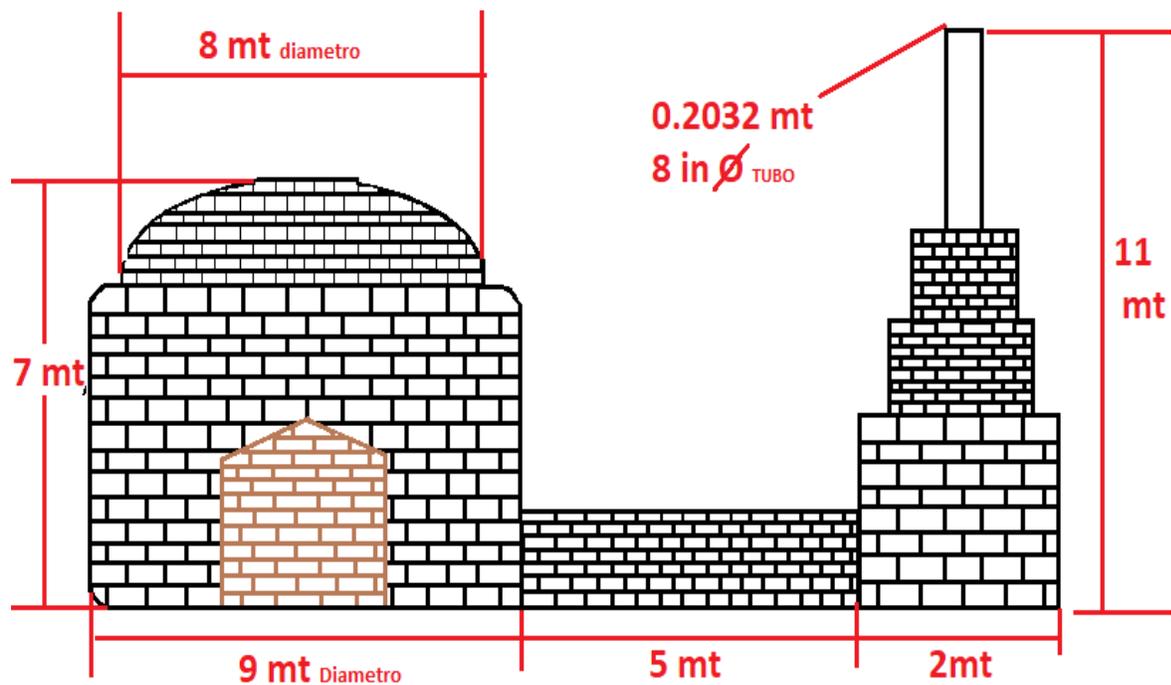
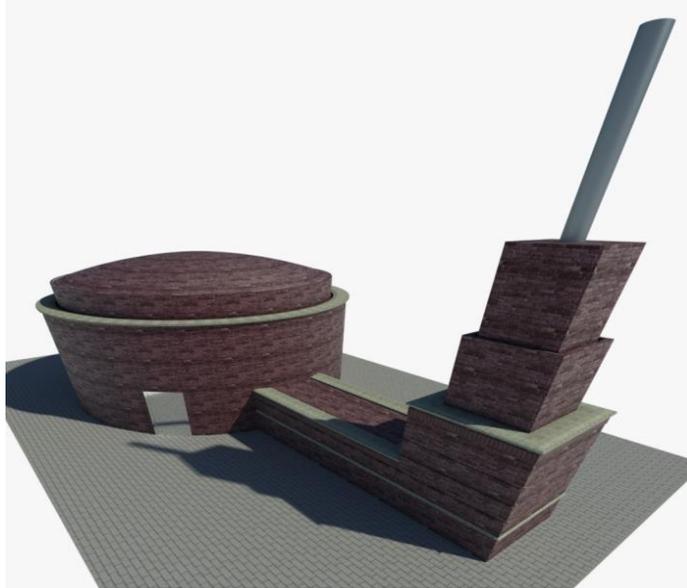


Figura 23: Plano Planta



5.3 Diseño de ductos.

Debemos partir de los principios flujo de aire. Para esto tenemos en cuenta las características que cuenta el fluido. Para tales efectos la presión del aire, tomada a 20°C y a 1 atm de presión, con esto presión de aire=1.20Kg/m³. La viscosidad cinemática y tiene un valor de 16x10⁻⁴ m²/s. [15]

No tomaremos en cuenta las condiciones por T°, si esta que pasa por los ductos de succión es diferente a la del medio ambiente tendremos una transferencia de calor la cual no modificará el flujo, pero este será despreciable.

La densidad del aire la tomaremos del 5% para que el cálculo nos trabaje de manera real y confiable tomaremos 20m/s de velocidad del aire.

Sin tener en cuenta que contemos con presencia de agua ya que este es un factor para tener en cuenta ya que nos cambiaria la densidad de los gases del sistema.

Tampoco se tendrá en cuenta el volumen y peso de los contaminantes que contiene el gas. Al momento que se evidencie la presencia de sólidos o gases diferentes al aire, se iniciara a tomar decisiones para realizar las modificaciones necesarias y no sea significativo su presencia o por defecto tenerlas en cuenta y que afectación podría presentarse al momento de su aparición.

Conociendo el volumen del aire sobre determinada sección. Para diseñar los ductos es recomendable que tenga una figura redonda ya que no ofrecen tanta resistencia al paso del flujo de los gases sin tener cambios significativos en el transporte de las partículas y capaz de resistir presiones a diferencia de los ductos cuadrado. Lo ideal es manejar una velocidad acorde a las necesidades del ducto y esto se puede lograr mediante el ventilador y su sistema de dosificación Damper buscando una velocidad estándar de 20 m/s, hay que tener en cuenta que tenemos velocidades menores podemos tener acumulación de material porque no tendría la fuerza necesaria para realizar la succión de manera ideal, por el contrario, si tenemos aumento de la velocidad será una condición para generar un desgaste de los componentes actuando como. Podemos tener la tolerancia por encima de esta velocidad, pero nunca por debajo.

Para hallar el \emptyset correcto del DUCTO. Para determinar la dimensión se basará en la siguiente fórmula:

$$Q = A \times V$$

Donde A el área transversal del ducto, V la velocidad

Diámetro del ducto salida de la chimenea 8 in

Convertimos 8 in a metros

$$8in = \frac{1 m}{39.37 in}$$

$$8\text{in} = 0.2032 \text{ [m]}$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = A = \frac{\pi \cdot (0.2032\text{m})^2}{4} = A = \frac{\pi \cdot 0.041290 \text{ m}^2}{4} = A = \frac{0.1297}{4} = 0.03242 \text{ m}^2$$

$$Q = A \times V$$

$$Q = 0.03242 \text{ m}^2 \times 10 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.3242 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

5.4 Selección de mangas y sus accesorios – cantidad y tipo de material textil.

Para determinar la selección del material filtrante es muy importante tener en cuenta la medición ya tomada para poder determinar su capacidad de resistencia física, como temperatura, las condiciones químicas a las que se va a ver expuesta a la hora de trabajo y sus características fisicoquímicas para obtener la tela idónea y tenga una vida larga de trabajo según tabla de calidades de materiales la que se acondiciona a las necesidades del horno tiene que ser 100% acrílico homopolímero fieltro punzonado.

inadecuado

Tabla 6: especificaciones físicas de la tela filtrante

ESPECIFICACIONES FÍSICAS	
PESO	(550 ± 3,20%) gr/m ²
PESO ESPECIFICO	0.35 gr/cm ³
CALIBRE	2,2 ± 0,3 mm
PERMEABILIDAD GASEOSA	(25-40) cfm F ² a 1/2" c.a
PERMEABILIDAD DE TRABAJO	4.6 cfm F ²

Tabla 7. Especificaciones químicas de tela filtrante

ESPECIFICACIONES QUÍMICAS	
RESISTENCIA ÁCIDOS	BUENA
RESISTENCIA ÁLCALIS	REGULAR
AGENTES OXIDANTES	BUENA
RESISTENCIAS SOLVENTES	BUENA
COMPORTAMIENTO ALA ABRASIÓN	BUENA
COMPORTAMIENTO A LA HIDROLISIS	EXCELENTE
FUERZA A TENSIÓN	EXCELENTE
RESISTENCIA A PODRIRSE	EXCELENTE
LIBERACIÓN DE POLVO	EXCELENTE

Tabla 8: Tratamiento a trabajo

TRATAMIENTOS	
MÁXIMA T° DE OPERACIÓN SECO	121 °C
MÁXIMA T° DE OPERACIÓN HÚMEDO	121 °C
MÁXIMA T° A CORTO TIEMPO	135°C
PUNTO DE FUSIÓN	180-200 °C
ABSORCIÓN DE LA HUMEDAD	H.R. A 21 °C 0.2 %

Tenemos que determinar la cantidad de mangas requeridas, la distancia entre ellas, accesorios como los son la canastilla porta mangas, el Venturi y el material adecuado según las condiciones químicas del material captado.

Canastilla: se introduce al interior de las mangas y son las encargadas de mantener la estructura de las mangas, serán 16 varillas verticales trefiladas de 3.5 mm electrosoldadas, con separadores cada 200mm

5.5 sistema de evacuación.

Es importante que tipo de sistema se va a utilizar para la evacuación de la materia para garantizar la ausencia de entradas de aire falso que afecten el proceso, y nos garantice su facilidad y agilidad para el operador y poder disponer el material de manera adecuada para nuestro caso utilizaremos una válvula pendular doble, la cual ira instalada al final de la tolva de material, consta de una carcasa dentro de la cual se instalara una compuerta fabricada en lamina, está compuesta opera mediante el peso gravitatorio del material y de manera inmediata recupera su posición inicial para repetir el ciclo la válvulas pendulares dejan de pasar material sin permitir el ingreso de aire falso al sistema, el diseño seleccionado para la evacuación del material es el mas recomendado debido a su funcionalidad que se requiere y en comparación con otros dispositivos es de menor valor no queriendo decir que no supla las necesidades, por otro lado la cantidad de MP a evacuar no es de magnitud se considero en el diseño la evacuación en canecas de 55 galones, los cuales serán dispuesto para el procesamiento de la fabricación de ladrillos o para ser comercializados en sector cementero, los cuales cumplen con ciertos criterios para su proceso.

Figura 24: válvula pendular doble



datos de fabricación de válvula pendular doble:

carcaza fabricada en lamina HR- A36 e= 10 mm

con bocas de 260 x 260 mm

bridas en platina hr-a36 de 10 X 64mm

dos compuertas de inspección

altura de 911 mm

tolva interna y lengüeta de sello fabricadas en laminas A-36 e=12mm

eje de \varnothing de 20 mm montado en dos soportes sy (SKF) brazo y contrapesa de capacidad de 4 TPH

Tabla 9: especificaciones técnicas de válvula pendular

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
CAPACIDAD MAXIMA	4,5 M³/H
MÁXIMA T° OPERACIÓN	150 °C
TAMAÑO DE ENTRADA Y SALIDA	260X260
ACCIONAMIENTO	POR GRAVEDAD MEDIANTE CONTRAPESAS REGULARES
CHUMACERAS	SKF SY 20 TF/VA201

5.6 Selección de ventilador.

Determinar la potencia requerida y no quede sub o sobredimensionado a las necesidades requeridas para esto se debe tener en cuenta el caudal ya calculado en el punto 18.2.

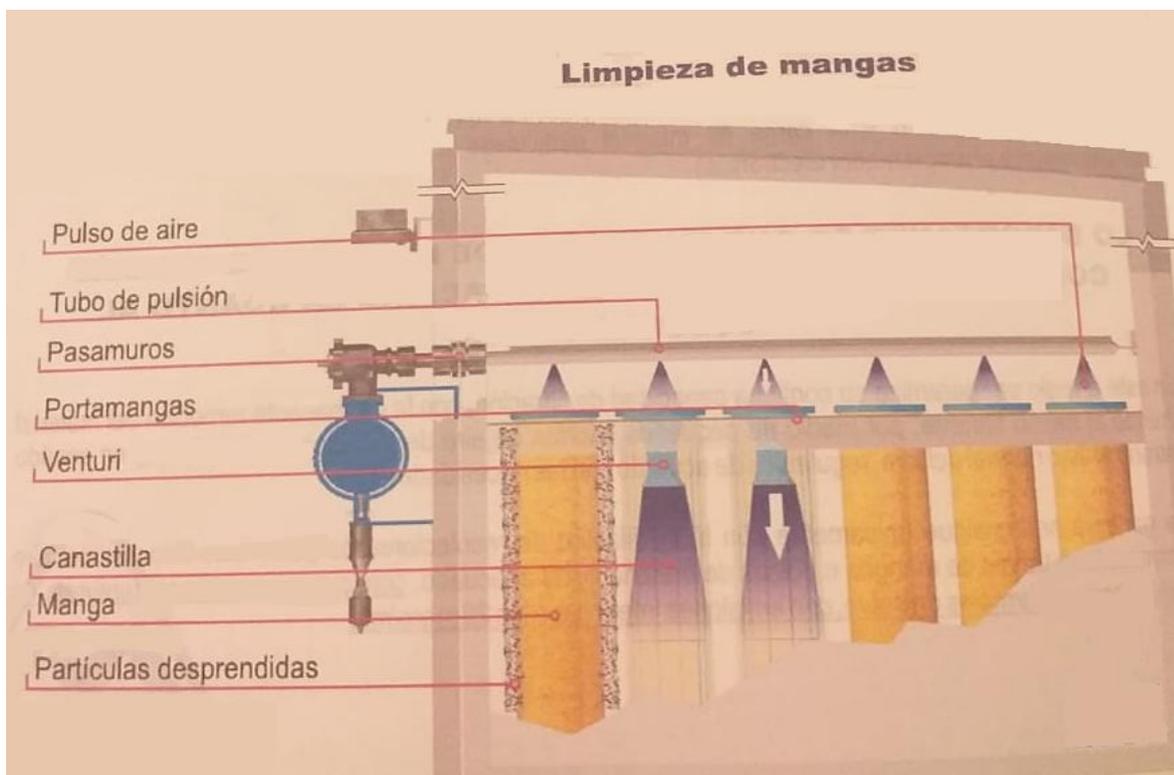
El tipo de ventilador a utilizarse debe ser del tipo centrifugo, ya sea de alabes radiales o alabes curvados hacia atrás.

Tabla 10: especificación técnica ventilador

DESCRIPCIÓN	UND	CANT.
REFERENCIA	-	COLECTOR DE MANGAS
T° DE OPERACIÓN	°C	50
CARACTERÍSTICAS DE LOS GASES	-	AIRE LIMPIO
MATERIAL PARTICULADO	mg/m^3	POLVO DE LADRILLO
DENSIDAD DE LOS GASES	kg/m^3	0,79
CAUDAL	m^3/h	1200
PRESIÓN	mm c.a	200
VELOCIDAD DE GIRO MOTOR	rpm	1760
POTENCIA AL FRENO	hp	3
TIPO DE ACOPLÉ	-	DIRECTO
ROTACIÓN DE DESCARGA	-	DERECHO
PESO VENTILADOR	KG	180

5.7 Selección de accesorios requerida en el captador de polvo.

Tabla 11: accesorios filtro



5.7.1 Válvulas de purga

Cada tanque (aire comprimido) incluye una válvula de purga de ½ para asegurarse de cualquier acumulación de humedad sea evacuada evitando contaminación del aire de limpieza y por ende la hidrólisis de las mangas por alta humedad interior, dicha válvula está instalada en la parte inferior del tanque y se activa automáticamente por acumulación de condensados.

5.7.2 Unidad de aire comprimido

Es una combinación de filtro de aire con purga automática, válvula de seguridad manómetro, llave de paso, válvula de purga y una toma rápida, con esto reduce los contaminantes del sistema de aire comprimido, minimizando la humedad lleva un regulador para ajustar la presión de limpieza de las mangas.

5.7.3 Tubos de pulsión o distribución de aire comprimido

Se fabrica en tubo de acero sch-40 reforzado con ángulo de 1" para aumentar su rigidez estos tubos serán construidos usando alineamientos especialmente desarrollados para asegurarse que los orificios de los tubos coincidan exactamente con el centro de las mangas, se insertan directamente en las válvulas de alto flujo y se aseguran mediante un pasamuros en un extremo y en el otro mediante una tuerca para facilitar su desmontaje para futuras intervenciones.

5.7.4 Mangueras y conectores

Se emplean para la conexión entre el tanque de aire comprimido, las válvulas de control y las de alto flujo la manguera soporta los 150 psi y su conexión es con acoples rápidos de ¼ de in.

Determinación del espesor de los conductos:

Debido a que el sistema de extracción tratado corresponde a clase 3 (transporte de partículas altamente abrasivas a bajas concentraciones) y el diámetro de los conductos utilizados están entre 200 y 450mm de diámetro, entonces el espesor mínimo para este será de e=1,5mm. Calculando encontramos el valor mínimo real del espesor requerido en este sistema:

$$\frac{t}{305} = \sqrt[3]{0.001406 \times 0,031 \left(\frac{1 - 0,3^2}{2,14 \times 10^6} \right) (1321 + 305)}$$

$$\frac{t}{305} = \sqrt[3]{3,012 \times 10^{-8}}$$

t=0,95mm con un factor de seguridad de 1,5

ÁREA FILTRANTE

El área filtrante es la cantidad de tela requerida en un sistema de filtración dada por la relación

$$A_t [m^2] = \frac{Q \left[\frac{m^3}{min} \right]}{Vf}$$

De donde Q es el caudal de diseño actual del colector y del sistema y Vf es la relación Aire tela del sistema, asimismo el cálculo del área total filtrante, que viene dada por:

$$A_t = \pi * N * D_m * L_m$$

Siendo N la cantidad de mangas en el filtro, Dm el diámetro de las mangas y Lm la longitud de las mangas

Donde:

Am: Área filtrante de una manga (m²)

Dm: Diámetro de la manga 0.1524 m

Lm: longitud de la manga 2.048 m

$$A_t = \pi * 0.1524 * 2.048 = 0.98 \frac{m^2}{manga}$$

Relación de filtración

$$Rf = \frac{Q \left[\frac{m^3}{min} \right]}{A_t}$$

$$Rf = \frac{15 \left[\frac{m^3}{min} \right]}{11.5}$$

$$Rf = 1.31 m^3$$

Numero de mangas

$$N = \frac{Q \left[\frac{m^3}{min} \right]}{0.98 x Rf}$$

$$N = \frac{15 \left[\frac{m^3}{min} \right]}{0.98 x 1.31 m^3}$$

$$N = 11.68 \cong 12$$

Velocidad ascendente

$$V = \frac{A\left(\frac{m^3}{hora}\right)}{A_{efect}(m^2)}$$

$$A_{efect}(m^2) = A_t - (A_{base} * N)$$

$$A_t = \pi * 0.1524 * 12 * 2.048 = 11.5 \frac{m^2}{manga}$$

$$A_{base} = \frac{\pi * D^2 * manga}{4}$$

$$A_{base} = \frac{\pi * 0.1524^2 * manga}{4} = 0.0182m^2$$

$$A_{efect}(m^2) = 11.5 - (0.0182 * 12) = 11.2816m^2$$

$$V = \frac{900\left(\frac{m^3}{hora}\right)}{11.2816(m^2)}$$

$$V = 1.32m/seg$$

Potencia del ventilador

$$P_{motor} = \frac{Q_{cfm} * \Delta P}{75 * N_t}$$

Donde

$$Q_{cfm} = caudal = \frac{17am^3}{min} = 600 cmf$$

ΔP = diferencial de presión a trabajar

N_t = rendimiento del sistema valor tomado por tabla de ventiladores axiales

Tabla 3.12

Tipo	Corpo (militar)	Industrial	Industrial	Radial	Radial	Radial	Grupos
P_1	12 a 30°	40°	55°	90°	90°	90°	140° a 170°
P_2	40°	41°	42°	90°	90°	90°	100°
D_1	0.50 ₁	0.42 ₁	0.60 ₁	0.50 ₁	0.60 ₁	0.30 ₁	1.0 ₁
D_2	0.50 ₂	0.30 ₂	0.325 ₂	0.50 ₂	0.325 ₂	0.30 ₂	0.50 ₂
L_1	0.45 ₁	0.075 ₁	0.06 ₁	0.45 ₁	0.20 ₁	0.05 ₁	0.50 ₁
L_2	0.45 ₂	0.05 ₂	0.111 ₂	0.45 ₂	0.20 ₂	0.05 ₂	0.50 ₂
L_3	0.40 ₃	0.15 ₃	0.10 ₃	0.40 ₃	0.40 ₃	0.15 ₃	0.50 ₃
H	0.60 ₁	0.275 ₁	0.15 ₁	0.60 ₁	0.55 ₁	0.275 ₁	1.0 ₁
I	0.125 ₁	0.075 ₁	0.10 ₁	0.125 ₁	0.10 ₁	0.075 ₁	0.15 ₁
e	0.08 ₁	0.03 ₁	0.06 ₁	0.08 ₁	0.06 ₁	0.03 ₁	0.08 ₁
z	12 a 16	20	40	20	20	10 a 12	40
v_{m1}	1.1	1	1.15	1.15	1.15	1.15	1.6
v_{m2}	0.17	0.15	0.45	0.65	0.65	0.65	0.4
v_{m3}	0.15	0.15	0.45	0.55	0.55	0.55	0.25
η_1	85%	80%	75%	70%	70%	70%	70%
η_2	90%	80%	80%	90%	80%	70%	80%
η_3	85%	85%	90%	95%	90%	85%	90%

$$P_{motor} = \frac{600 * 150}{75 * 0.504} = 2.381$$

$$P_{motor} = 2.381 cv * \frac{0.9862 hp}{1 cv} = 2.348 hp$$

Se adopta un motor de 3 hp

PRESUPUESTO			
DESCRIPCIÓN	KG	VALOR UNT.	VALOR TOTAL
MONTAJE DE INFRAESTRUCTURA	442	22.362	9.884.100
VENTILADOR 3HP			4.290.000
FILTRO	937	24.921	23.351.350
			36.525.450

Montaje de infraestructura: se contempla lo necesario para el montaje como IPE, soldaduras, incluye barandas y pasarelas para su operación

Filtro: se contempla los accesorios requeridos para su operación como manguera, conectores, manómetro, sellos, pintura, mangas

Tabla 12: especificaciones de filtro

ESPECIFICACIONES TECNICAS FILTRO DE MANGAS	
T° DE TRABAJO	50
T° MÁXIMA	120
TIPO DE MANGA	SNAP-BAND
VOLUMEN DE AIRE	900 am³/h
	15am³/min
CARGA DE MATERIAL PARTICULADO	30-50 grs/m³
DIMENSIONES DE MANGA	152x2000 mm
SUPERFICIE POR MANGA	0,96 m³
CANTIDAD DE MANGAS	12 unid
SUPERFICIE TOTAL	11.5 m²
RELACIÓN DE FILTRACIÓN	1.31m³/min x m²
CAN VELOCIDAD	95m/min
MAX PRESIÓN DIFERENCIAL	150 mm.ca
AIRE COMPRIMIDO 7 A 8 BAR	2-5 Nm³/h
NUMERO VÁLVULAS ALTO FLUJO	3 und.
MATERIAL FILTRANTE	fieltro punzonado

6. Conclusiones

Al finalizar este documento se puede determinar las necesidades existentes en los pequeños dueños de ladrilleras de la ciudad de Sogamoso y de la población en general la cual se ve afectada por las emisiones generadas por esta actividad.

Se puede tener una alternativa al momento de escoger el tipo de combustible para desarrollar su actividad viéndose beneficiado en la parte económica y la productiva.

- Se establece las partículas emitidas por la fábrica la capilla en la ciudad de Sogamoso (ver tabla 5) en la producción de ladrillo, las cuales afectan a la población y al medio ambiente de la provincia de sugamuxi.
- Los datos recopilados en las mediciones de emisiones se puede determinar la generación de CO Monóxido de carbono, SO₂ dióxido de azufre afirmando las afectaciones ambientales que se genera en la producción de ladrillo.
- Las mediciones de operación del horno, es determinante la variable del combustible, que afectan el tiempo de producción y/o el aumento de las emisiones de MP.
- La variación del precio de producción es un factor a tener en cuenta, debido a días efectivos de producción y precio del combustible utilizado la diferencia es de 4 a 1, TON coque \$1.200.000, TON carbón \$300.000
- De acuerdo con el diseño del colector, se podrá obtener una efectividad del 99 % en la captación de polvo, reduciendo las emisiones que se pueden generar al medio ambiente.

- Con el diseño se podrá obtener un beneficio económico al pasar de utilizar coque con precio de \$ 1.200.000 pesos mcte a la utilización de carbón térmico con precio comercial de \$300.000 mcte
- Se podrá disponer el material captado para ser comercializado a empresas interesadas en el producto como son las cementeras o ser reutilizado en el proceso nuevamente.
- .

7. Anexos

ANEXO A : Ficha técnica pirómetro.

ANEXO B: Testo 350

ANEXO C: Plano planta corte superior

ANEXO D: Plano planta superior

ANEXO E: Tabla de conversión de filtros

ANEXO F: Tablas datos filtros

ANEXO G: Tabla de telas

ANEXO H: Filtro de purga automática

ANEXO I: Válvulas de alto flujo

ANEXO J: Plano Canastillas

ANEXO K: Plano general

ANEXO L: Plano de detalle general

ANEXO M: Plano isométrico

ANEXO N: Plano de Detalle

9. Bibliografía

- [1] zambrano gomez ivan, «universidad nacional de colombia,» repositorio de la universidad nacional , 25 11 2016. [En línea]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58713>. [Último acceso: 02 01 2022].
- [2] J. X. Sandoval Meneses, «universidad de barcelona,» diposit digital, 10 03 2021. [En línea]. Available: <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/175998>. [Último acceso: 01 01 2022].
- [3] E. K. M. Palacios, «scielo,» revista de medicina facultad, 01 06 2019. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-00112019000200189&script=sci_arttext&tlng=es . [Último acceso: 01 02 2022].
- [4] universida de la salle , 03 05 2018. [En línea]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1393&context=ing_ambiental_sanitaria . [Último acceso: 02 02 2022].
- [5] Á. P. Arango Ordoñez, «repositorio institucional,» universidad distrital, 1 6 2015. [En línea]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/6716> . [Último acceso: 02 02 2022].
- [6] H. F. Alvarado Patiño, «repository,» unad, 01 10 2014. [En línea]. Available: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/2766> . [Último acceso: 01 02 2022].
- [7] G. leon, «datos del fabricante,» sogamoso, 2022.
- [8] S. Charan, *Advances in Smart Grid Technology.*, usa: Inee vol 688, 2020.
- [9] Serrano, «universidad privada del norte,» 01 01 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22082> . [Último acceso: 02 02 2022].
- [10] estrucplan, «estrucplan,» estrucplan, 02 10 2020. [En línea]. Available: <https://estrucplan.com.ar/contaminantes-en-efluentes-gaseosos-y-iii/>. [Último acceso: 10 01 2022].
- [11] ventury, «ventury,» ventury, 15 07 2016. [En línea]. Available: <http://www.colectordepolvos.com/colectores/>. [Último acceso: 13 03 2022].

- [1] filtrotek, «filtrotek,» filtrotek, 02 05 2015. [En línea]. Available:
2] <http://www.filtrotek.com/canastillas-colector-de-polvo-donal.php>. [Último acceso: 02 02 2022].
- [1] gygindustrial, «gygindustrial,» gygindustrial, 04 02 2000. [En línea]. Available:
3] <https://gygindustrial.com/colector-de-polvo-tipo-manga-2/>. [Último acceso: 03 04 2022].
- [1] U. d. medellin, «scielo,» scielo, 01 06 2008. [En línea]. Available:
4] http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242008000100004. [Último acceso: 03 02 2022].
- [1] tamaaernova, «tamaaernova,» tamaaernova, 09 09 2009. [En línea]. Available:
5] <https://www.tamaaernova.com/es/3-filtro-de-mangas-pulco-air>. [Último acceso: 01 09 2022].
- [1] w. j. fan, «wuxi jn fan,» jian nan , 30 06 2017. [En línea]. Available: <http://www.jn-fans.com/news/axial-fan-working-principle-7922177.html>. [Último acceso: 02 02 2022].
- [1] u. d. manizales, «universidad de manizales,» 10 05 2019. [En línea]. Available:
7] https://idea.manizales.unal.edu.co/publicaciones/eventos/Foro_Simposio_2019/dia2/6.pdf. [Último acceso: 02 03 2022].
- [1] S. M. G. Ángel, «virtual pro,» 10 12 2015. [En línea]. Available:
8] <https://www.virtualpro.co/files-bv/20151201/20151201-027.pdf>. [Último acceso: 01 03 2022].
- [1] v. Rocha, «universidad de manizales,» 08 07 2020. [En línea]. Available:
9] http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552020000200046#fn1. [Último acceso: 29 02 2022].
- [2] E. S. Bacca, «universidad fransisco de paula,» 020 02 2018. [En línea]. Available:
0] https://w.ufps.edu.co/public/archivos/oferta_academica/9d01cb1f41b1d9c684f05cabe756e9a1.pdf#page=99. [Último acceso: 28 01 2022].
- [2] J. S. G. Vega, «universidad de los andes,» 09 09 2008. [En línea]. Available:
1] <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/17440/u713608.pdf?sequ>. [Último acceso: 01 03 2022].

- [2] C. A. García-Ubaque, «revista de salud publica vol 14,» 10 06 2012. [En línea].
2] Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642012000800009. [Último acceso: 01 03 2022].
- [2] S. E. F. Buitrago, «universidad santo tomas,» 27 2 2016. [En línea]. Available:
3] <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/tarquitectura/issue/view/114>. [Último acceso: 16 01 2022].
- [2] S. M. G. Ángel, «uptc,» 12 03 2015. [En línea]. Available:
4] <https://www.virtualpro.co/files-bv/20151201/20151201-027.pdf>. [Último acceso: 15 02 2022].
- [2] A. J. Arrieta, «UPTC,» 02 07 2026. [En línea]. Available:
5] https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5445. [Último acceso: 13 03 2022].
- [2] J. LEGUIZAMON, «UNIVERSIDAD DEL BOSQUE,» 01 12 2019. [En línea].
6] Available: <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/3261>. [Último acceso: 19 01 2022].
- [2] S. D. PIETROI, «COOPERATIVISMO Y DESARROLLO,» 11 11 2015. [En línea].
7] Available: <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/co/article/view/1874>. [Último acceso: 30 01 2021].
- [2] G. FRANCO, «REVISTA ING ANTIOQUIA,» 14 07 2010. [En línea]. Available:
8] http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372010000200006. [Último acceso: 15 11 2021].
- [2] G. C. JUNIOR, «INSTITUTO NACIONAL DE CARBON,» 01 01 2000. [En línea].
9] Available: <https://digital.csic.es/handle/10261/52182> . [Último acceso: 12 12 2021].
- [3] V. Infantas, «ciencia y desarrollo,» 17 04 2019. [En línea]. Available:
0] <http://www.revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/view/206>. [Último acceso: 15 03 2022].
- [3] G. H. SALAMANCA, «DIALNET,» 9 9 2009. [En línea]. Available:
1] <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3644746>. [Último acceso: 28 02 2022].

