

**Diseño de un sistema de tratamiento para el control de material particulado
al alcance de pequeñas empresas textiles de la ciudad de Bogotá**

Autores

Dubier Ulises Chaparro Parada

Manuel Ignacio Cepeda Ávila

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

CEAD José Acevedo y Gómez

Julio de 2019

**Diseño de un sistema de tratamiento para el control de material particulado
al alcance de pequeñas empresas textiles de la ciudad de Bogotá**

Autores

Dubier Ulises Chaparro Parada

Manuel Ignacio Cepeda Ávila

Director

Julio Cesar Hernández

Tutor

Amalio Segundo Otero Tapia

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

CEAD José Acevedo y Gómez

Julio de 2019

Tabla de contenido

1. Descripción y formulación del problema.....	8
2. Justificación.....	10
3. Objetivo general.....	11
3.1 Objetivos específicos.....	11
4. Diseño metodológico.....	12
4.1 Acta de constitución del proyecto.....	13
4.2 Estructura de descomposición del trabajo “EDT /WBS”.....	16
4.3 Plan de gestión de los riesgos.....	19
4.4 Recursos Necesarios.....	20
4.5 Cronograma de actividades.....	20
4.6 Plan de gestión de beneficios.....	21
5 Marco referencial.....	23
5.1 Principio de funcionamiento.....	32
6 Marco conceptual.....	35
7 Marco legal.....	37
8 Marco geográfico.....	41
9 Presentación y análisis de los resultados obtenidos.....	42
9.1 Juicio de expertos.....	46
9.2 Diseño del ciclón.....	49
10. Conclusiones.....	55
11. Bibliografía.....	56

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Acta de constitución del proyecto</i>	13
Tabla 2. <i>Plan de gestión de riesgos</i>	19
Tabla 3. <i>Presupuesto</i>	20
Tabla 4. <i>Cronograma</i>	20
Tabla 5. <i>Identificación y cuantificación de beneficios por componente</i>	21
Tabla 6. <i>Descripción de las fuentes evaluadas “Plan Decenal de Descontaminación”</i>	26
Tabla 7. <i>Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones</i>	34
Tabla 8. <i>Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio.</i>	40
Tabla 9. <i>Encuesta</i>	42
Tabla 10. <i>Resultados</i>	43
Tabla 11. <i>Gestión de costos</i>	46
Tabla 12. <i>Resultado de juicio de expertos</i>	48
Tabla 13. <i>Parámetros de diseño para los ciclones y entrada tangencial</i>	50
Tabla 14. <i>Distribución de tamaño de las partículas</i>	51
Tabla 15. <i>Características de los ciclones de alta eficiencia</i>	51
Tabla 16. <i>Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones</i>	53

Lista de graficas

Gráfica 1. <i>Mapa estructural de descomposición del trabajo</i>	18
Gráfica 2. <i>Concentración de contaminantes en Bogotá (Años 2002-2012)</i>	24
Gráfica 3. <i>Promedio de material particulado menor a 10 micras en los años 2011 y 2012.</i> ...	24
Gráfica 4. <i>Aporte porcentual</i>	29
Gráfica 5. <i>Índice Bogotano de Calidad de Aire – IBOCA</i>	30
Gráfica 6. <i>Diseño</i>	33
Gráfica 7. <i>Mapa</i>	41

RESUMEN

El proyecto se centrará en el diseño de un sistema de tratamiento de emisiones atmosféricas para pequeñas empresas textiles de la ciudad de Bogotá, en el que se desarrollará una investigación de ingeniería con el fin de reducir la concentración de contaminantes que se emiten al aire en la ciudad por parte de las diferentes actividades industriales que actualmente no cuentan con sistemas de tratamiento en sus procesos que permitan una eliminación significativa de contaminantes como material particulado menor a 10 micras (PM10), la emisión de dichos contaminantes contribuye al deterioro de la calidad del aire, lo cual impacta directamente en la salud de la población.

Otro de los problemas identificados tiene que ver con el escaso suministro de sistemas de tratamiento de emisiones atmosféricas en el país y los altos costos de las empresas que los comercializan, lo que dificulta aún más su adquisición. Por esta razón, muchas de las pequeñas empresas emiten cantidades contaminantes a la atmósfera, lo que demuestra que se debe hacer un trabajo de gestión e ingeniería para cubrir esa necesidad.

PALABRAS CLAVE:

Emisiones, calidad de aire, gestión, contaminación, material particulado

ABSTRAC

The project will focus on the design of a treatment system for atmospheric emissions for small textile companies in the city of Bogotá, where engineering research will be conducted to reduce the concentration of pollutants that are emitted into the air in the city. city by the different industrial activities that currently do not have treatment systems in their processes that allow a significant elimination of pollutants such as particulate material less than 10 microns (PM10), the emission of these pollutants contributes to the deterioration of air quality , which directly impacts the health of the population.

Another of the problems identified has to do with the scarce supply of atmospheric emission treatment systems in the country and the high costs of the companies that market them, making it even more difficult to acquire them. For this reason many of the small companies emit pollutant amounts into the atmosphere, which shows that engineering work must be done to cover that need.

KEY WORDS:

Emissions, air quality, management, pollution, particulate material

DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA EL CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO AL ALCANCE DE PEQUEÑAS EMPRESAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ

1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El problema radica en la escasa oferta tecnológica del país en cuanto a sistemas de tratamiento de material particulado que es generada por pequeñas empresas textiles, lo cual repercute de manera directa sobre el medio ambiente y trae consecuencias en la salud de las personas.

Antecedentes del estudio

Según la “*Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas*” del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “*el aumento de la productividad es un indicador del crecimiento económico de un país y está directamente relacionado con la calidad del aire*”, allí se argumenta que, con el aumento en la producción de las empresas, también se aumenta el consumo de combustibles y emisiones. Lo cual indica que las fuentes móviles y fijas de emisión correspondientes a la industria manufacturera son las que han aportado más contaminantes a la atmosfera, según el *Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE* en la encuesta Manufacturera anual se debe establecer un seguimiento a las emisiones mediante la creación de inventarios de emisión de contaminantes con el fin de informar el estado de la calidad del aire y mejorar la toma de decisiones.

Adicional a esto, las tecnologías existentes son de difícil adquisición debido a su alto costo e insuficiente disponibilidad en el país, la gran mayoría deben ser importadas lo cual dificulta el acceso de estos sistemas a las pequeñas empresas, panorama que no es ajeno a la situación

ambiental de la ciudad de Bogotá donde se llevó a cabo el “*Plan Decenal de descontaminación de Aire para Bogotá*” (Secretaría Distrital de Ambiente) con ayuda de una prestigiosa universidad de la ciudad, quien conocimiento de causa determino que “*Las fuentes industriales en Bogotá emiten anualmente a la atmósfera 1,400 toneladas de material particulado, estas cantidades representan uno de los principales aportes al problema de contaminación del aire en la ciudad*” (Universidad de los Andes, Parte 2. Inventario de emisiones provenientes de fuentes fijas y móviles), adicionalmente la “*Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (Pequeñas y medianas empresas)*” nos indican que a causa de los procesos que desarrollan y los equipos que manejan las pequeñas y medianas empresas contribuyen con una carga considerable de contaminantes a la atmosfera, lo cual da origen a un efecto acumulativo y más pronunciado en las emisiones. De acuerdo a lo anterior nos preguntamos ¿Es posible controlar las emisiones de material particulado mediante un sistema de control al alcance de pequeñas empresas?

2. JUSTIFICACIÓN

Dadas las condiciones actuales de la ciudad de Bogotá en lo que respecta a la contaminación del aire, sus consecuencias en la salud pública y las emisiones atmosféricas generadas por pequeñas empresas manufactureras como las dedicadas a los textiles, es necesario que la ingeniería gestione una herramienta de diseño con un excelente estándar de calidad al alcance de estas industrias, con el fin de contribuir a la disminución progresiva en la emisión de partículas a la atmósfera y que a su vez represente una solución en la disminución de enfermedades respiratorias. Por lo expuesto anteriormente, gestionar un proyecto que tenga como finalidad el diseño de un sistema de tratamiento y control de emisiones para material particulado al alcance de las pequeñas empresas contribuiría en gran medida a la disminución de las concentraciones de este contaminante en la ciudad, lo cual impactaría beneficiosamente a las personas. Actualmente la entidad encargada de vigilar la calidad del aire de los bogotanos está realizando controles intensos en las empresas que tengan emisiones atmosféricas y revisar si cumplen con las medidas mínimas, para lo cual las empresas en muchas ocasiones no disponen de estos controles por no conocer de la norma o por no conocer de personas que se especialicen en la construcción de estos y llegan las multas que son mucho más costosas que la misma implementación de un sistema de tratamiento. Por lo tanto, se van a ofrecer sistemas que sean de bajo costo sin dejar de lado la calidad y eficiencia, por tanto, nace la idea de gestionar un diseño para el tratamiento y remoción de partículas. A la hora de hablar de pequeñas empresas lo más llamativo no es la eficiencia o el diseño sino el costo de su implementación, por lo tanto, se tiene claro que el primer objetivo es diseñarlo enfocado en los bajos costos y la facilidad de adquisición asegurando la eficiencia desde la parte de compromiso ambiental.

3. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema para el control de material particulado al alcance de las pequeñas empresas textiles en la ciudad de Bogotá.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un ciclón de alta eficiencia para el control del material particulado
- Determinar si el sistema de control puede estar al alcance del pequeño empresario.
- Aplicación del PMBOK en cada una de las fases del proyecto.

4. DISEÑO METODOLÓGICO

El proyecto a ejecutar es de tipo investigativo que se encuentra en la línea de investigación “Desarrollo Sostenible y Competitividad”, con el cual se apunta a gestionar el proyecto para el diseño un sistema de control para la emisión de material particulado (Ciclón de alta eficiencia) en las pequeñas industrias textiles, la mejor forma de abordar y desarrollar la investigación es por medio de la revisión de casos existentes y analizar las tecnologías ya creadas e implementadas verificando su eficiencia, adicionalmente como herramienta del proyecto se pretende realizar un juicio de expertos para tener puntos de vista objetivos en torno a los resultados del diseño del sistema de control para material particulado y así tomar las mejores decisiones apoyados en los criterios de personas idóneas en el tema, por tanto, se seguirá la base de la experiencia de casos ya ejecutados, para lo cual deberá estar conformado por especialistas en el tema de ingeniería.

La población de estudio son las pequeñas empresas de la ciudad de Bogotá, se seleccionó esta población teniendo en cuenta que es donde se ubican una gran parte de la industria del país y además de los índices de contaminación tan elevados que se concentran en esta zona, por lo tanto es una zona de fácil acceso para lograr la implementación del sistema a proponer y se dispone de varias empresas para tal fin, para lo cual se deberá realizar visitas de campo para identificar empresas que no tengan sistemas de control para material particulado y determinar si estarían interesadas en adquirir un sistema de control como el diseñado.

La muestra será por conglomerados los cuales lo componen las pequeñas empresas a estudiar, se va a iniciar con la revisión de los reportes de los entes públicos donde están identificados la fuente de emisión y las cuales están debidamente reportadas, desde allí se seleccionarán las que no tengan sistema de control y se procederá a seleccionar un número determinado para

visitarlas y tener una muestra con la cual se pueda trabajar, esto dependerá claro del tipo de proceso productivo que se realice en la empresa pues no todas las empresas son objeto de estudio, solo serán aquellas en las que tengan emisión de material particulado.

Para la adecuada gestión del proyecto es completamente necesario aplicar técnicas y herramientas de Gestión de Proyectos que se relacionan a continuación.

4.1 ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO

Tabla 1. *Acta de constitución del proyecto*

PROYECTO	<i>“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA EL CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO AL ALCANCE DE PEQUEÑAS EMPRESAS TEXTILES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ”.</i>				
PREPARADO POR:		Dubier Ulises Chaparro Parada	DIA	MES	AÑO
REVISADO POR:		Manuel Ignacio Cepeda Ávila	DIA	MES	AÑO
APROBADO POR:			DIA	MES	AÑO
BREVE DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO O SERVICIO DEL PROYECTO					
<p>Diseño de un sistema de tratamiento para el control de material p a r t i c u l a d o al alcance de pequeñas empresas textiles, con el ánimo reducir la concentración de los contaminantes que son emitidos a la atmosfera por parte de sus actividades de este tipo de industrias en la ciudad de Bogotá, las cuales en su mayoría no cuentan con sistemas de tratamiento en sus procesos, lo cual contribuye al detrimento de la calidad del aire e impacta de manera significativa la salud pública y la calidad de vida de las personas, por estas razones la implementación de este sistema en estas pequeñas empresas permitirá una remoción considerable de material particulado menor a 10 micras (PM10) en sus emisiones, es importante tener en cuenta que existen una limitada oferta tecnológica de estos sistemas en el país y la poca oferta presenta unos costos altos, posiblemente este asociado a los tramites de importación de los mismos, por ello es vital tener en cuenta en el diseño que el sistema de tratamiento esté al alcance del pequeño empresario</p>					
PROPÓSITO DEL PROYECTO					

<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de un sistema de tratamiento para el control de material particulado al alcance de pequeñas empresas textiles de la ciudad de Bogotá. 	
OBJETIVOS DEL PROYECTO	
<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar un ciclón de alta eficiencia para el control del material particulado. - Determinar si el sistema de control puede estar al alcance del pequeño empresario. - Establecer el impacto comercial del sistema de control. 	
FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO DEL PROYECTO	
<ul style="list-style-type: none"> • Acercamiento inicial y oferta del sistema al pequeño empresario. • Reducción en los costos de elaboración e implementación. • Porcentaje de eficiencia en la remoción de contaminantes. • Cobertura del proyecto en el sector industrial de la ciudad. 	
REQUERIMIENTOS DE ALTO NIVEL	
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción en la concentración de las emisiones atmosféricas por parte de las pequeñas empresas ubicadas en la ciudad de Bogotá. • Cobertura de la totalidad de fuentes fijas de emisión de la localidad. • Reducción en la concentración de las emisiones atmosféricas en la ciudad de Bogotá. • Disminución en las tasas de morbilidad, asociadas a las enfermedades respiratorias agudas (ERA). 	
EXTENSIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO	
FASES DEL PROYECTO	PRINCIPALES ENTREGABLES
Fase I	<ul style="list-style-type: none"> • Levantamiento de información.
Fase II	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de información.
Fase III	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño del equipo.
Fase IV	<ul style="list-style-type: none"> • Presentación de resultados.
INTERESADOS CLAVES	

INTERESADOS INTERNOS	INTERESADOS EXTERNOS
1. Autores.	Pequeñas empresas textiles ubicadas en Bogotá.
RIESGOS	
1. Costos de implementación.	
2. Eficiencia de remoción del sistema.	
3. Interés por parte de los pequeños empresarios.	
4. Tiempos de diseño y elaboración del sistema.	
HITOS PRINCIPALES DEL PROYECTO	
1. Levantamiento de información.	
2. Análisis de la información.	
3. Diseño del equipo	
4. Divulgación de resultados	
5. Oferta inicial al pequeño empresario.	
PRESUPUESTO DEL PROYECTO	
Tres millones setecientos mil pesos (\$ 3.700.000 M.C.)	
EQUIPO DE TRABAJO Manuel Ignacio Cepeda Ávila Dubier Ulises Chaparro Parada	

4.2 ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DEL TRABAJO “EDT /WBS”

Esta herramienta se aplica con el fin de tener una estructura organizada que nos sirve para conocer el trabajo requerido para dar cumplimiento a los requerimientos del proyecto en cada una de sus fases o etapas.

Fase I: Levantamiento de la Información

- Determinación de los Requerimientos Técnicos
- Definición de Población Objetivo
- Encuesta a Población Objetivo
- Análisis de Resultados

Fase II: Análisis de la Información

- Análisis de la información de campo (Encuestas).
- Análisis de los requerimientos técnicos.
- Análisis de diseño (Tener en cuenta juicio de expertos).
- Análisis de Demanda de Producto.

Fase III: Diseño del Equipo

- Diseño del prototipo.
- Rediseño Prototipo con base a sugerencias y Resultados.

Fase IV: Divulgación de los Resultados

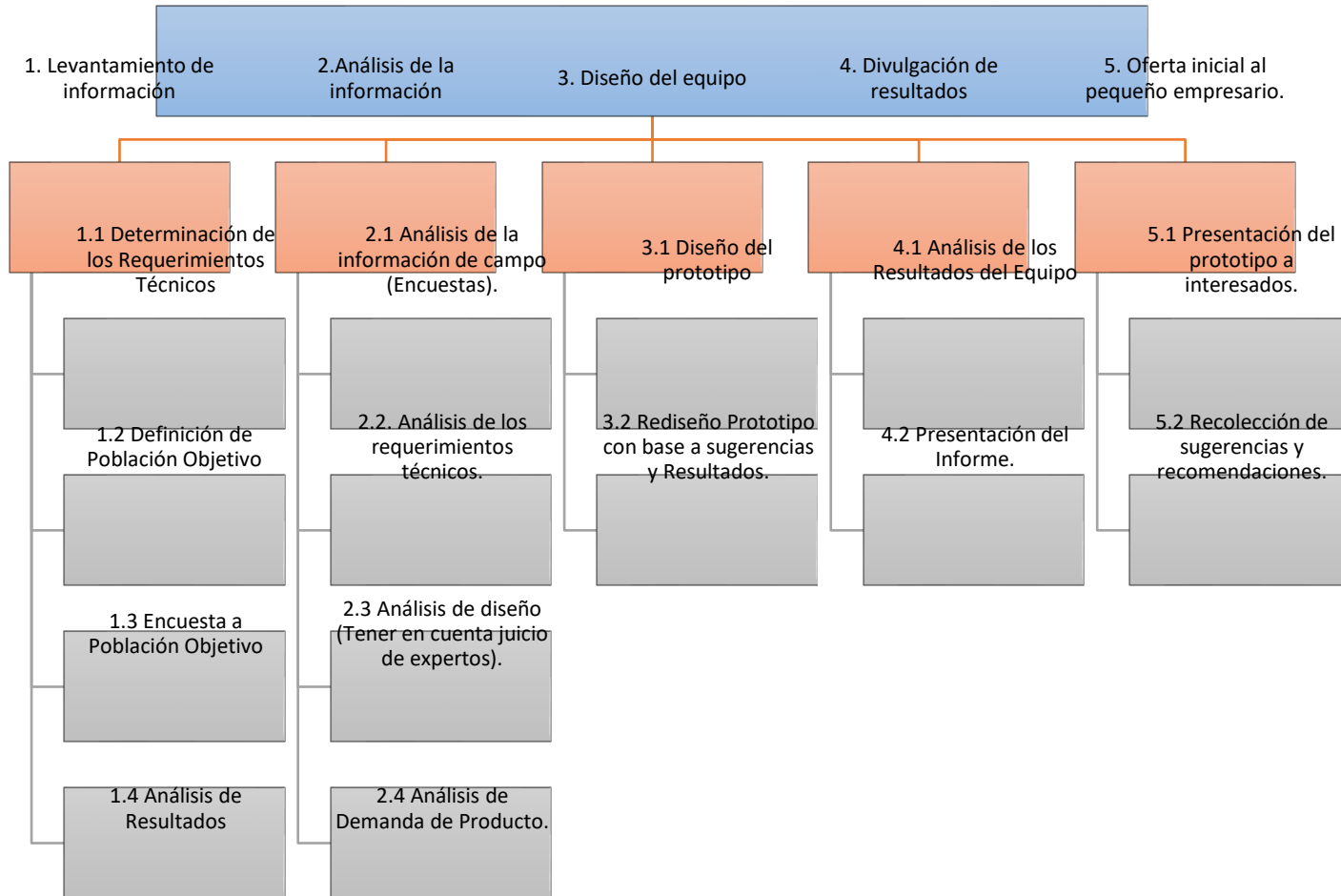
- Análisis de los Resultados del Equipo

- Presentación del Informe.

Fase V: Oferta Inicial al pequeño empresario.

- Presentación del prototipo a interesados.
- Recolección de sugerencias y recomendaciones.

Diseño de un sistema de tratamiento para el control de material particulado al alcance de pequeñas empresas de la ciudad de Bogotá



Gráfica 1. Mapa estructural de descomposición del trabajo

4.3 PLAN DE GESTIÓN DE LOS RIESGOS

Este plan nos ayudará principalmente a identificar los posibles riesgos durante el desarrollo de este proyecto, mediante análisis cualitativo y cuantitativo de las actividades y variables involucradas en él, de esta manera se proveerá la toma de medidas para el control de los mismos y hacerles su respectivo seguimiento.

Tabla 2. *Plan de gestión de riesgos*

	METODOLOGÍA	RIESGO	CATEGORÍA DE RIESGO	PROBABILIDAD	RESPUESTA
	ACTIVIDAD				
Repartimiento de la información	Determinación de los Requerimientos	No se contemplen los requerimientos acordes a la realidad	Técnico	Muy baja	Controlar la recolección de información conforme al plan
	Encuesta a Población Objetivo	Las encuestas se realicen de forma que no se aglomere la población correcta	Técnico	Baja	Controlar la recolección de información conforme al plan
	Análisis de Resultados	Que los análisis no cumplan con el objeto de estudio	Técnico	Baja	Usar las herramientas necesarias para disponer de los resultados más reales
Oferta inicial	Adquisición de Insumos	Adquirir insumos de baja calidad	Técnico	Media	Revisar muy bien varios sitios antes de comprar los insumos
	Diseño del Prototipo	Prototipo no cumpla con los requerimientos ambientales	Técnico	Alta	Revisar muy bien la bibliografía al respecto de sistemas de control
	Análisis de información	Que los análisis no cumplan con el objeto de estudio	Técnico	Baja	Usar las herramientas necesarias para disponer de los resultados más reales
Diseño y elaboración	Rediseño prototipo	Se comentan errores anteriores	Tecnecio	Baja	Tener en cuenta las observaciones del prototipo

4.6 PLAN DE GESTIÓN DE BENEFICIOS

El plan de gestión de beneficios ayuda a reducir el riesgo asociado al desarrollo del proyecto, ya que está presente en la totalidad de él, tiene en cuenta lo que los intereses de las partes involucradas y tiene la capacidad de tener en cuenta los obstáculos potenciales que afecten la calidad.

Tabla 5. *Identificación y cuantificación de beneficios por componente*

IDENTIFICACIÓN				GESTIÓN					
INICIATIVA	BENEFICIO	OBJETIVOS ESTRATÉGICOS	FECHA DE ENTREGA	LÍNEA BASE	OBJETIVO	MEDICIÓN ACTUAL	FECHA	DESVIACIÓN	EXPLICACIÓN
COMPONENTE 1	REDUCCIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS.	DISEÑAR UN EQUIPO PARA EL CONTROL DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO	3 MESES	60%	90%	75%	2019-06-01	15%	YA SE REALIZARON LOS DISEÑOS
COMPONENTE 2	DEMANDA MASIVA EN EL MERCADO NACIONAL	DISEÑAR UN EQUIPO QUE TENGA UNA BUENA EFICIENCIA DE REMOCIÓN Y ESTE AL ALCANCE DEL PEQUEÑO EMPRESARIO	6 MESES	70%	95%	90%	2019-06-01	5%	LOS DISEÑOS CUMPLEN CON LOS MEJORES ESTÁNDARES DE CALIDAD, PUEDE MEJORAR. SE TIENEN ACUERDOS, PERO FALTA FORTALECER LA PROPUESTA PARA GENERAR EL IMPACTO DESEADO
COMPONENTE 3	CRECIMIENTO EMPRESARIAL	GENERAR IMPACTO EN LA OFERTA DE SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES EN EL PAÍS	12 MESES	60%	90%	70%	2019-06-01	20%	

El plan de gestión de beneficios tuvo en cuenta se la definición y objetivo estratégico de cada uno de los beneficios de acuerdo las necesidades del proyecto. Adicionalmente el plan considera las acciones que contribuyen a la consolidación de beneficios como son:

- Identificar los posibles obstáculos que pueda tener el proyecto a lo largo de su ejecución con el fin de que el proyecto inicie con plenas garantías de consecución de beneficios.
- Tener en cuenta el análisis de costo-beneficio y controlarlo, para establecer la viabilidad en cada etapa del proyecto con respecto a la rentabilidad esperada.
- Realizar actividades de apoyo adecuadas con el fin de asegurar que los beneficios se logren en el tiempo.
- Se debe determinar cómo se entregarán o informarán los beneficios.
- Revisar la consecución de beneficios al finalizar el proyecto.

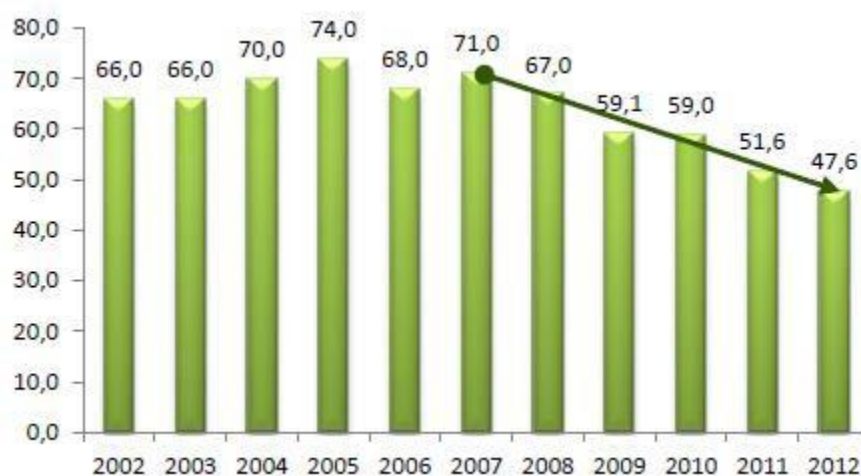
5 MARCO REFERENCIAL

Según el Artículo 2 “*Definiciones*” de la Ley 905 de 2004 las pequeñas empresas tienen un máximo de 50 colaboradores y cuentan con activos entre 501 y 4999 SMMLV.

Luego de una investigación en la *biblioteca de la Organización Panamericana de la Salud en el documento LAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS* afirma que “*Las PYME en los países recién industrializados se caracterizan por emplear métodos industriales sencillos con uso predominante de mano de obra. A menudo, el equipo es de segunda mano y el proceso de fabricación ineficiente si se comparan con las industrias más grandes (Benavides, 1992)*” (*Biblioteca de la Organización Panamericana de la Salud en su documento, Pequeñas y medianas empresas*).

Las anteriores definiciones, sumado a la escasa oferta tecnológica del país en cuanto a sistemas para el tratamiento de las partículas generadas por pequeñas empresas, repercute de manera directa en la contaminación atmosférica y la salud de las personas, prueba de ello son los resultados arrojados en los estudios realizados en la ciudad de Bogotá por *Solarte et al. (1999)* encontraron una relación directa entre las consultas médicas a causa de enfermedades respiratorias y los incrementos en la concentración de material particulado, lo cual indica que si existe un aumento en concentraciones de material particulado también aumentarían las consultas médicas por enfermedades respiratorias, según datos recolectados de algunos hospitales de la ciudad. *La Secretaría Distrital de Ambiente* en el “*Informe Sectorial 2013*” nos comparte cifras de las concentraciones de material particulado en los últimos años, allí podemos darnos cuenta de que desde hace muchos años la ciudad ha venido presentando altas concentraciones de este contaminante la mayoría de las veces superando los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud, sin embargo, en algunas

administraciones estas concentraciones han reducido gracias a la aplicación de diferentes estrategias.



Gráfica 2. Concentración de contaminantes en Bogotá (Años 2002-2012)

Según la Secretaría Distrital de Ambiente “durante el período 2008-2012 se realizaron 843 muestreos de emisiones atmosféricas, para seguimiento y control de industrias que utilizan como combustible carbón mineral” (Informe Sectorial Secretaría Distrital de Ambiente, 2013). A continuación, en la siguiente tabla se presenta el promedio de material particulado menor a 10 micras en los años 2011 y 2012 para una de las estaciones de la red de calidad del aire.

Estación	2012	2011	Diferencia 2012-2011
Carvajal (Sony)	76,4	85,6	-9,2
Fontibón		52,1	
Guaymaral (Escuela)	34	36,2	-2,2
Kennedy	70,8	78,5	-7,7
Las Ferias (Carrefour)	45,6	41,9	3,7
Parque Simón Bolívar (IDRD)	33,9	37,5	-3,6
Puente Aranda	47,9	55,5	-7,6
Sagrado Corazón (MAVDT)	42,3		
San Cristóbal	35,7	40,4	-4,7
Suba (Corpas)	53,4	51,4	2,0
Tunal	47,1	52,1	-5,0
Usaquén (Bosque)	36,4		

Gráfica 3. Promedio de material particulado menor a 10 micras en los años 2011 y 2012.

De acuerdo con los resultados se determinó que a pesar de que las concentraciones se redujeran significativamente, la estación de Carvajal presento una alta concentración de PM10.

Según el Plan Decenal de descontaminación *“Las fuentes industriales en Bogotá emiten anualmente a la atmósfera 1,400 toneladas de material particulado, estas cantidades representan uno de los principales aportes al problema de contaminación del aire en la ciudad. Según los registros oficiales disponibles en la Cámara de Comercio de Bogotá, en la ciudad hay más de 45,000 industrias manufactureras. De esta cantidad, sin embargo, menos de 1,000 (pertenecientes al sector formal) se encuentran asociadas con emisiones de contaminantes a la atmósfera. Como parte de estas empresas, la ciudad cuenta con cerca de 2,000 chimeneas industriales”* (Universidad de los Andes). En dicho plan se caracterizaron las fuentes ubicadas en las localidades de Kennedy, Puente Aranda y Fontibón.

Luego de una investigación por la biblioteca de la Organización Panamericana de la Salud *“Las fundiciones pequeñas, molinos de arroz, panaderías, restaurantes, procesadores de alimentos, fábricas de ladrillos y fundiciones de plomo quemar combustibles fósiles, leña u otros materiales, que generan emisiones (Kent, 1991)”* (Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, *Pequeñas y medianas empresas*).

Según consultas en la *“Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (Pequeñas y medianas empresas)”* la ineficiencia ambiental y atraso tecnológico de las pequeñas empresas dan origen a un efecto acumulativo y más pronunciado en las emisiones. Se afirma también que *“los problemas de contaminación del aire se intensifican debido a la existencia de fábricas de pequeña escala que operan con equipos obsoletos y generan importantes emisiones de gases y partículas sin tomar*

provisiones para controlar la contaminación” (Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, Pequeñas y medianas empresas).

A continuación, se presentan las fuentes fijas de emisión que fueron utilizadas para realizar el inventario de emisiones del “*Plan Decenal de Descontaminación de Bogotá*”.

Tabla 6. Descripción de las fuentes evaluadas “*Plan Decenal de Descontaminación*”

No	Tipo de fuente	Característica de la fuente	Combustible	Actividad económica de la industria	categoría	Localidad	Año de fabricación	Sistema de control de emisiones
1	Horno	Incineración de residuos	Gas Natural	Incineración	Piloto	Teusaquillo	1999	no
2	Caldera	100 BHP	Gas Natural	Fabricación de productos alimenticios	Piloto	Ciudad Bolívar	ND	no
3	Horno	Cocción	Carbón	Elaboración de aceites y grasas	Piloto	Tunjuelito	ND	no
4	Caldera	30 BHP	Diésel	Fabricación de jabones y detergentes	Piloto	Puente Aranda	ND	no
5	Caldera	150 BHP	Gas Natural	Fabricación de productos farmacéuticos	CG1	Puente Aranda	1995	no
9	Caldera	200 BHP	Gas Natural	Fabricación de productos de caucho	CG1	Puente Aranda	1981	no
10	Caldera	500 BHP	Gas Natural	Elaboración de bebidas no alcohólicas	CG1	Kennedy	1997	no
11	Caldera	400 BHP	Gas Natural	Elaboración de bebidas no alcohólicas	CG1	Kennedy	1978	no
6	Caldera	700 BHP	Gas Natural	Elaboración de bebidas no alcohólicas	CG2	Puente Aranda	1998	no
7	Caldera	700 BHP	Gas Natural	Elaboración de bebidas no alcohólicas	CG2	Puente Aranda	1998	no
8	Caldera	150 BHP	Gas Natural	Fabricación de productos farmacéuticos	CG2	Puente Aranda	1999	no
12	Caldera	100 BHP	Gas Natural	Fabricación de productos farmacéuticos	CG3	Puente Aranda	1979	no

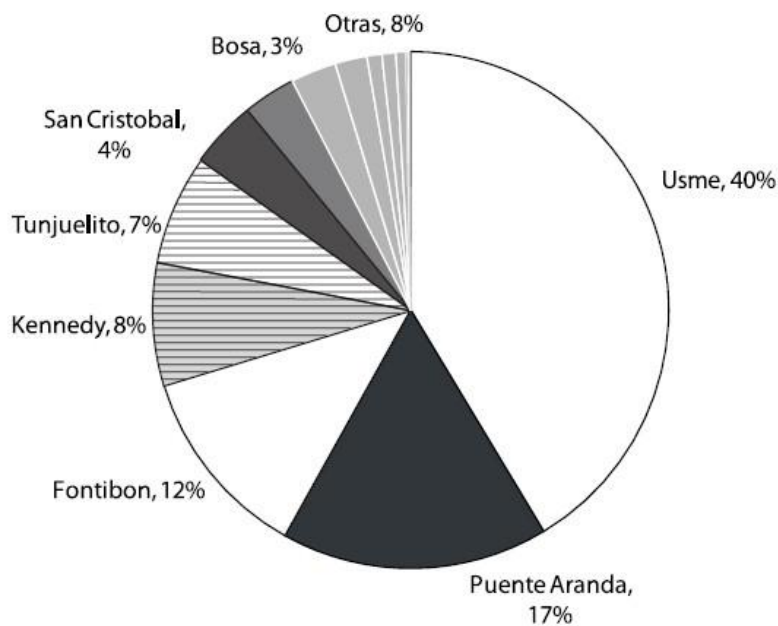
No	Tipo de fuente	Característica de la fuente	Combustible	Actividad económica de la industria	categoría	Localidad	Año de fabricación	Sistema de control de emisiones
13	Caldera	100 BHP	Gas Natural	Fabricación de productos de caucho	CG3	Puente Aranda	1981	no
14	Caldera	100 BHP	Gas Natural	Fabricación de productos alimenticios	CG3	Puente Aranda	1977	no
15	Caldera	50 BHP	Gas Natural	Fabricación de productos alimenticios	CG3	Puente Aranda	1976	no
16	Caldera	40 BHP	Gas Natural	Fabricación de productos alimenticios	CG3	Puente Aranda	1990	no
17	Horno	Cocción	Gas Natural	Fabricación de productos alimenticios	HG1	Puente Aranda	1997	no
18	Horno	Cocción	Gas Natural	Fabricación de productos alimenticios	HG1	Puente Aranda	1995	no
19	Horno	Cocción	Gas Natural	Fabricación de productos alimenticios	HG1	Fontibón	1986	no
20	Horno	Secado o curado	Gas Natural	Fabricación de productos elaborados de metal	HG2	Puente Aranda	2006	no
21	Horno	Secado o curado	Gas Natural	Fabricación de vehículos automotores	HG2	Tunjuelito	ND	no
22	Horno	Secado o curado	Gas Natural	Fabricación de vehículos automotores	HG2	Tunjuelito	ND	no
23	Horno	Secado o curado	Gas Natural	Fabricación de vehículos automotores	HG2	Puente Aranda	1972	no
24	Caldera	120 BHP	Carbón	Fabricación de productos textiles	CC1	Kennedy	ND	Lavador y ciclón
25	Caldera	250 BHP	Carbón	Fabricación de productos textiles	CC1	Puente Aranda	ND	Lavador y ciclón
26	Caldera	200 BHP	Carbón	Fabricación de productos textiles	CC1	Fontibón	2002	Lavador y ciclón
27	Caldera	150 BHP	Carbón	Fabricación de productos textiles	CC1	Antonio Nariño	2004	Lavador y ciclón
28	Caldera	100 BHP	Carbón	Fabricación de productos textiles	CC2	Rafael Uribe	2004	Lavador y ciclón
29	Caldera	80 BHP	Carbón	Fabricación de productos textiles	CC2	Fontibón	2004	Lavador y ciclón

No	Tipo de fuente	Característica de la fuente	Combustible	Actividad económica de la industria	categoría	Localidad	Año de fabricación	Sistema de control de emisiones
30	Caldera	80 BHP	Carbón	Fabricación de productos textiles	CC2	Kennedy	1981	Ciclón
31	Caldera	40 BHP	Carbón	Fabricación de productos textiles	CC2	Kennedy	1998	Ciclón
32	Horno	Cocción de ladrillos	Carbón	Ladrillera	HL	Usme	ND	Filtro de malla
33	Horno	Cocción de ladrillos	Carbón	Ladrillera	HL	Usme	1974	Filtro de malla
34	Horno	Cocción de ladrillos	Carbón	Ladrillera	HL	Usme	1970	Filtro de malla
35	Horno	Cocción de ladrillos	Carbón	Ladrillera	HL	Usme	1960	no

Las industrias pertenecen a diferentes sectores productivos como se pudo observar en la anterior tabla, de 35 fuentes evaluadas, un total de 24 no poseen sistemas de tratamiento para sus emisiones y según el *Plan Decenal de Descontaminación de Bogotá “el 35% de las fuentes contaminantes en Bogotá obedecen a empresas que operan informalmente”* (Universidad de los Andes).

Según este importante estudio, *“los hornos ladrilleros son el sector más contaminante en lo que se refiere a emisiones de material particulado, seguido de cerca por las calderas de gran capacidad alimentadas con carbón”* (Universidad de los Andes).

En este estudio determinaron que si se controlan las emisiones de estas industrias se reduciría considerablemente la contaminación en la ciudad. De acuerdo con la investigación *“En este estudio, se logró documentar que la producción no tecnificada de ladrillo es la más importante fuente de contaminación por material particulado en la ciudad a pesar de que no se cuenta con numerosos establecimientos de este tipo”* (Universidad de los Andes).



Gráfica 4. *Aporte porcentual*

Es importante aclarar que los estudios del “Plan Decenal de Descontaminación de Bogotá” el cual constituye la principal referencia en la ciudad, fueron realizados en el año 2009. En la actualidad la localidad de Kennedy reporta concentraciones de PM10 de $71,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dicho valor aun que es inferior al límite máximo establecido ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$), está muy cerca al límite y el estado de contaminación se cataloga como MODERADO”, como se muestra a continuación.



Gráfica 5. Índice Bogotano de Calidad de Aire – IBOCA

Según cifras del *Observatorio Ambiental de Bogota*, la Secretaria Distrital de Ambiente logró identificar en la localidad de Kennedy “605 establecimientos con contaminación por emisiones atmosféricas, vertimientos industriales y residuos peligrosos, ubicados en las UPZ de Américas, Castilla, Carvajal, Tintal Norte, Corabastos y Bavaria” (Secretaria Distrital de Ambiente).

Por tal razón es importante crear una solución para que aquellas pequeñas empresas textiles y procesos industriales no formales que se actualmente desarrollan actividades en la ciudad de Bogota, que es la zona de especial interés en el presente estudio por la concentración de contaminantes, dicha solución radica en el diseño de un equipo de tratamiento para material particulado emitido por fuentes fijas, dicho equipo tendrá una condición especial y es que será a pequeña escala con el fin de que esté al alcance de las pequeñas empresas y procesos, siendo capaz de proporcionar una remoción significativa de material particulado. Dicho sistema corresponde a un ciclón, según investigación del reconocido Magíster en Ingeniería Ambiental Carlos Alberto Echeverri Londoño, denominada “*Diseño Optimo de Ciclones*” “*este equipo constituye uno de los medios menos costosos de recolección de polvo, tanto desde el punto de vista de operación como de la inversión. Estos son básicamente construcciones simples que no cuentan con partes móviles, lo cual facilita las operaciones de mantenimiento; pueden ser hechos de una amplia gama de materiales y pueden ser diseñados para altas temperaturas (que ascienden incluso a 1000 oC) y presiones de operación*” (Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 2006).

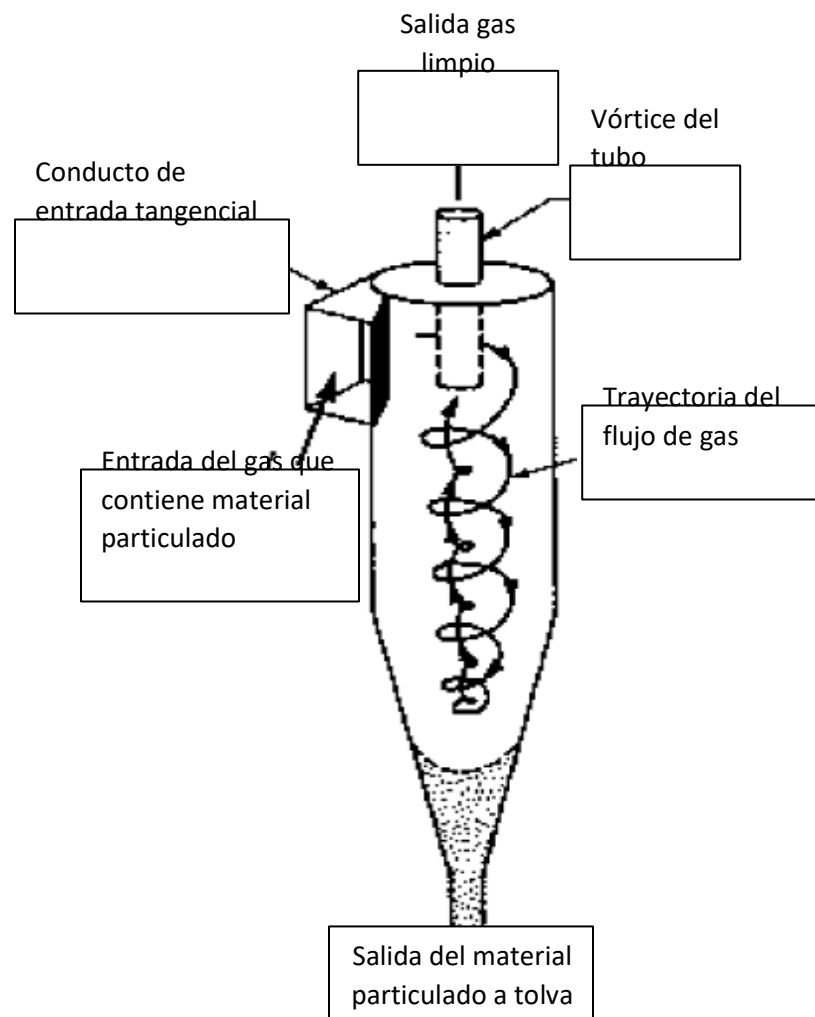
Según la investigación los ciclones son muy eficientes para la separación de partículas con un tamaño mayor a 5 micras, aunque también pueden remover partículas de menor tamaño.

5.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Según la *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)*, en su investigación realizada en el “*Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias*”, el cual contiene información detallada acerca de equipos para remover material particulado de fuentes fijas, en este caso los ciclones por ser los equipos de interés en el presente estudio, según este documento “*los ciclones utilizan la inercia para remover partículas de una corriente de gas giratoria. Dentro de un ciclón, la corriente de gas es forzada a girar dentro de una cámara de forma generalmente cónica*” (*Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias*, octubre 1998).

A continuación se presenta información detallada del *Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias* relevante para la presente investigación, donde nos explican el sistema de funcionamiento de los ciclones de alta eficiencia “*Los ciclones operan creando un vértice doble dentro del cuerpo del ciclón, dentro de este se imparte un movimiento circular al gas entrante ya sea mediante una entrada tangencial o por medio de vanes giratorios en la entrada axial. El gas desciende por el ciclón en trayectoria espiral cerca de la superficie interior del tubo del ciclón. Al fondo del ciclón, el gas da la vuelta y asciende en trayectoria espiral a través del centro del tubo y hacia afuera por la parte superior del ciclón. La figura 5.1-6 ilustra la operación de vértice doble en un ciclón. Las partículas en la corriente de gas son forzadas hacia las paredes del ciclón por la fuerza centrífuga del gas girando, pero es obstruidas por la fuerza de arrastre de fluidos del gas que viaja a través y hacia afuera del ciclón. Para las partículas que son grandes, el momento inercial contrarresta el momento inercial y causa que estas partículas abandonen el*

ciclón con el gas saliente. La gravedad también causa que las partículas mayores que alcanzan las paredes del ciclón se trasladen hacia abajo y dentro de una tolva en el fondo. Mientras dependen del mismo mecanismo de separación que los separadores por momento, los ciclones son más efectivos porque poseen un diseño más complejo del flujo de gas”
(Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias, octubre 1998).



Gráfica 6. *Diseño*

Es importante conocer el funcionamiento de los ciclones en la fase de diseño para que su porcentaje de eficiencia en la remoción sea satisfactorio, según el *Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias* “Los ciclones

convencionales pueden remover partículas de 10 micras con 85 a 90 por ciento de eficiencia, partículas de 5 micras a una eficiencia de 75 a 85 por ciento, y partículas de 2.5 micras con una eficiencia de 60 a 75 por ciento. Los ciclones sencillos de lata eficiencia pueden remover partículas de 5 micras con una eficiencia de hasta el 90 por ciento, con eficiencias más altas alcanzables para partículas mayores. Los ciclones de alto rendimiento únicamente garantizan la remoción de las partículas mayores de 20 micras, aunque la recolección de partículas menores ocurre de hecho hasta cierto punto” (Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias, octubre 1998).

Los ciclones se dividen en tres tipos convencional, alta eficiencia y alta capacidad, cada uno de ellos presenta un porcentaje de eficiencia diferente para determinado tamaño de partícula como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 7. Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones

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

Como se puede observar en la anterior tabla y según se señala en la investigación, los ciclones de alta eficiencia son los que presentan una mejor remoción para cada tamaño de partícula como son; Partículas suspendidas totales (PST), Partículas inferiores a 10 micras (PM10) y partículas inferiores a 2,5 micras (PM2.5).

6 MARCO CONCEPTUAL

Teniendo en cuenta las definiciones que referencia la Resolución 909 de 2008, **la contaminación** es los *“fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que solos, o en combinación, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales”* (Resolución 909 de 2008). en el presente estudio dadas las condiciones de la calidad del aire en la ciudad de Bogotá, sus consecuencias en la salud pública y las emisiones atmosféricas que corresponden a la acumulación o concentración de contaminantes en el aire generadas por pequeñas empresas y teniendo en cuenta que la resolución define **emisión** como *“la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de éstos, proveniente de una fuente fija o móvil”*(Resolución 909 de 2008), es necesario gestionar un proyecto que proporcione una herramienta con un excelente estándar de calidad el cual ajuste a las inconformidades tecnológicas y económicas de pequeñas empresas, con el fin de contribuir a la disminución progresiva de los niveles de PM que emiten a la atmosfera, toda vez que una **fuente de emisión** *“es toda actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire”* (Resolución 909 de 2008), por medio de una **fuente fija puntual** o el conjunto de ellas que emiten contaminantes al aire por ductos o chimeneas.

Según lo anterior es importante que dichas empresas cuenten con un **sistema de control de emisiones**, el cual la resolución define como el *“conjunto ordenado de equipos, elementos o maquinaria que se utilizan para el desarrollo de acciones destinadas al logro de resultados*

medibles y verificables de reducción o mejoramiento de las emisiones atmosféricas generadas en un proceso productivo” (Resolución 909 de 2008), estas representan una solución en la reducción de las tasas de morbilidad a causa de enfermedades respiratorias en la ciudad como primera medida y adicionalmente permitiría que estas pequeñas industrias cumplieran con el valor de descarga permitido de elementos contaminantes en este caso material particulado, establecido por la Autoridad ambiental conveniente, con la meta de alcanzar los límites mínimos de la norma de calidad del aire. Por otro lado, según lo referenciado por la Secretaría Distrital de Ambiente en el Plan decenal de descontaminación de Bogotá, “los beneficios económicos asociados a la reducción de la contaminación por material particulado se resumen en efectos positivos que equivaldrían a un ahorro en costos asociados al tratamiento de enfermedades” (Plan decenal de descontaminación de Bogotá).

Por tanto, un sistema de remoción de material particulado tipo **ciclón**, según investigación denominada **Diseño Óptimo de Ciclones** “*este equipo constituye uno de los medios menos costosos de recolección de polvo, tanto desde el punto de vista de operación como de la inversión. Estos son básicamente construcciones simples que no cuentan con partes móviles, lo cual facilita las operaciones de mantenimiento; pueden ser hechos de una amplia gama de materiales y pueden ser diseñados para altas temperaturas (que ascienden incluso a 1000 oC) y presiones de operación” (Echeverri, C).* Lo cual indica que este tipo de sistemas constituyen una herramienta útil para hacer frente al problema de investigación que se plantea en el presente estudio y se evidencia la importancia de gestionar un proyecto para el diseño un sistema de control para la emisión de material particulado tipo ciclón.

7 MARCO LEGAL

NORMAS APLICABLES

De acuerdo con la actividad económica, el sector donde se localiza el proyecto y el parámetro evaluado, a continuación, se listan las normas ambientales que podrían aplicar de acuerdo con el estudio.

- **Ley 9 de 1979:** “Por la cual se dictan Medidas Sanitarias”.
- **Decreto – Ley 2811 de 1974:** “Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”.
- **Decreto 1076 de 2015:** “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible”. Libro 2 Régimen Reglamentario del Sector Ambiente, Parte 2 Reglamentaciones, Título 5 Aire, Capítulo 1 Reglamento de protección y control de la calidad del aire, en las siguientes secciones: **Sección 1 – PROTECCIÓN Y CONTROL** hasta la **Sección 12 – RÉGIMEN SANCIONATORIO**, que compila el Decreto 948 de 1995 y sus modificaciones,
- **Resolución 1351 de 1995:** expedida por el Ministerio del Medio Ambiente: “Por medio de la cual se adopta la declaración denominada informe de Estado de Emisiones (IE-1).”
- **Resolución 898 de 1995:** expedida por el Ministerio del Medio Ambiente: “Por la cual se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y caldera de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores.”
- **Resolución 1619 de 1995:** expedida por el Ministerio del Medio Ambiente: “Por la cual se desarrollan parcialmente los Art. 97 y 98 del decreto 948 de 1995, modificado por el Decreto 2107 del 30 de noviembre de 1995”.

- **Resolución 125 de 1996:** expedida por el Ministerio del Medio Ambiente: “Por la cual se adiciona la Resolución 898 de agosto de 1995 en la que se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles sólidos y líquidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores”.
- **Resolución 2254 de 2017:** Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones”.
- **Resolución 619 de 1997:** expedida por el Ministerio del Medio Ambiente: “Por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.”
- **Resolución 58 del 2002:** expedida por el Ministerio del Medio Ambiente: “Por la cual se establecen normas y límites máximo por emisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos”.
- **Resolución 886 del 2004:** expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: “Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 0058 del 21 de enero del 2002 y se dictan otras disposiciones”.
- **Resolución 532 de 2005:** expedida por los Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural, de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial “Por la cual se establecen requisitos, términos, condiciones y obligaciones, para las quemas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras”.
- **Resolución 909 de 2008:** expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: “Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión

admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones”.

- **Resolución 650 de 2010:** expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: “Por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire”. (Inmisión).
- **Resolución 651 de 2010:** expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: “Por la cual se crea el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire - SISAIRE”. (Inmisión).
- **Resolución 760 2010:** expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: “Por la cual se adopta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas”.
- **Resolución 1309 de 2010:** expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: “Por la cual se modifica la Resolución 909 del 5 de junio de 2008”.
- **Resolución 2153 de 2010:** expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: “Por la cual se ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y se adoptan otras disposiciones”.
- **Resolución 2154 de 2010:** expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: “Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones”. (Inmisión).

- **Resolución 1632 de 2012:** expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: “Por la cual se adiciona el numeral 4.5 al Capítulo 4 del Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y ajustado por la Resolución 2153 de 2010 y se adoptan otras disposiciones”.
- **Resolución 324 de 2015:** expedida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales: “Por la cual se fijan las tarifas para el Cobro de los servicios de evaluación y seguimiento de licencias, permisos, concesiones, autorizaciones y demás instrumentos de control y manejo ambiental y se dictan otras disposiciones”

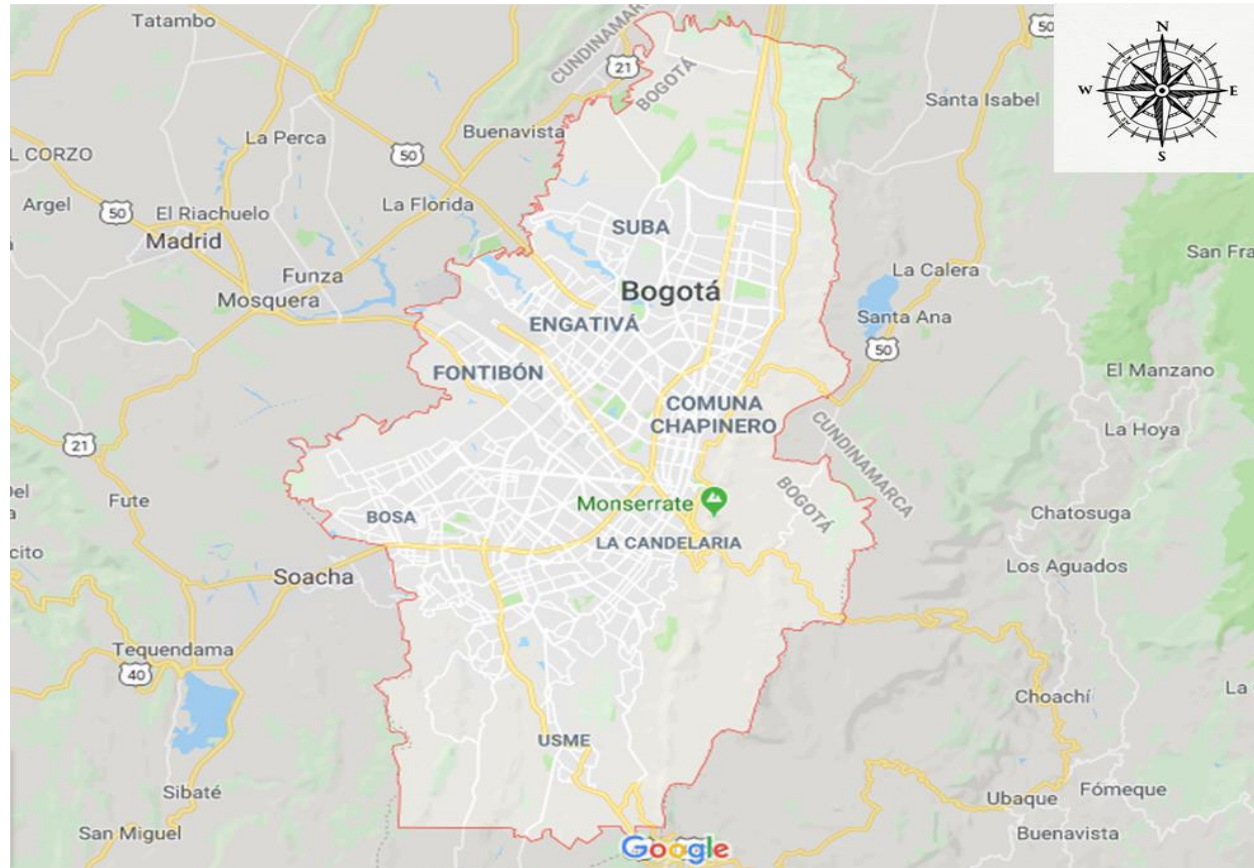
Las normas y los estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas están establecida en la Resolución 909 del 5 de Junio de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, que en su Artículo 6 se establece las actividades industriales y los contaminantes que cada una de las actividades industriales debe monitorear.

Por ser de especial interés se tendrán en cuenta los límites máximos Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire en las industrias existentes de fabricación de productos textiles. *“En la siguiente tabla se establecen los estándares de emisión admisibles para los equipos de combustión externa en las industrias existentes de fabricación de productos textiles, según la norma dichos estándares deben cumplirse en cada uno de los puntos de descarga.”* (resolución 909 de 2008)

Tabla 8. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio.

Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m ³)
Material Particulado (MP)	TODOS	250

8 MARCO GEOGRÁFICO



BOGOTÁ D.C

Superficie: 1,775 km²

Población: 8.081 millones (Aprox.)

Tiempo: 10 -20 °C

Viento del NE a 8 km/h

Humedad del 86 %

Gráfica 7. Mapa

9 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En la ejecución del proyecto se inició con las encuestas de algunas fábricas y sectores potenciales de realizar las pruebas piloto.

La estructura de la encuesta fue muy sencilla pues se buscaba ser muy concreto para conocer el estado del mercado, a continuación, se muestra la estructura de la encuesta.

Tabla 9. *Encuesta*

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ENCUESTA DE PEQUEÑAS EMPRESAS FUENTES FIJAS
NOMBRE
LOCALIDAD
ACTIVIDAD INDUSTRIAL
POSEE SISTEMA DE CONTROL
CUMPLE CON LA NORMATIVIDAD AMBIENTAL
POSIBILIDAD DE INVERTIR
CAPACIDAD DE INVERSIÓN

La encuesta se desarrolló en las localidades de Kennedy y Puente Aranda donde nos arrojaban las zonas con una mayor contaminación por material particulado y además donde se encuentran gran cantidad de la industria de la ciudad de Bogotá.

Los temas de importancia que se tuvieron en cuenta fueron la actividad industrial, con el fin de conocer que materias primas se manipulaban al interior de la fábrica y así mismo saber cuales

son las emisiones y los posibles contaminantes, también al conocer la actividad industrial se podría revisar con la normatividad vigente y la cual les aplica.

Muchas de las fábricas por cumplir con requisitos ambientales locales disponen de sistemas de control que por un lado pueden cumplir con la norma o por otro lado no la cumplen debido a un aumento en la capacidad operativa, aumento en la restricción de la normatividad local, daño en los sistemas de control por falta de mantenimiento; así como otros que no disponen de sistemas de control, con esta pregunta se buscaba conocer los posibles sistemas que actualmente se usaban y mirar su funcionamiento y eficiencia.

Ahora bien, conociendo si disponían o de sistema de control se evaluó si cumplían con la normatividad ambiental respecto a emisiones atmosféricas.

Finalmente se indago sobre la posibilidad si estaban dispuestos a invertir en un sistema de control y realizar las pruebas piloto, así como disponer del capital para realizar la inversión del prototipo y de realizar las pruebas de isocinético.

Tabla 10. *Resultados*

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA						
Nombre	Actividad industrial	Localidad	Sistema de control	Cumple con la normatividad	Disposición de inversión	Capacidad de inversión
JEANS LIA	Textil	Kennedy	NO	NO	NO	NA
MULTI CARVAJAL	TELAS Textil	Kennedy	SI	SI	NA	NA
ALUMINIO CORTES	Metalúrgico	Puente Aranda	SI	NO	NO	0

ESPUMAS Y						
MUEBLES	Textil	Kennedy	NO	SI	NA	NA
		Puente				
METALFUNDICION	Metalúrgico	Aranda	NO	NO	SI	1000000
POLLO SAN CARLOS	Servicio	Kennedy	NO	NO	SI	3000000
		Puente				
PUNTO ROJO	Servicio	Aranda	SI	SI	NA	NA
TELAS E HILOS	Textil	Kennedy	NO	NO	SI	4000000
REPRESENTACIONES		Puente				
MONTAÑA	Metalúrgico	Aranda	NO	NO	SI	1100000

Se encontraron tres actividades industriales en las dos localidades, textil, metalúrgica y servicio (asaderos que usen carbón como fuente de calor), el universo de estudio fueron 9 fábricas de las cuales tres disponían de sistema de control, que a su vez solo dos de ellas cumplían con la normatividad ambiental.

De las seis restantes solo una cumplía con la normatividad debido a su baja capacidad operativa y a las materias primas usadas en la producción de sus productos. De las cinco restantes 4 estaban en la disposición de invertir en el prototipo de control.

Las fábricas dispuestas a invertir tenían presupuestos bajos, pero solo una se acercó a la propuesta planteada en el inicio del proyecto y también se acoplaba con los contaminantes de estudio y los cuales podrían ser reducidos por el sistema control debido a su alta eficiencia en material particulado de ese tipo lo cual aumenta las posibilidades de éxito al final de las pruebas.

La fábrica seleccionada fue TELAS E HILOS la cual se ubica en la localidad de Kennedy, la cual en el momento de la visita técnica no poseía sistema de control, pero debido al aumento en su operación, la Secretaria Distrital de Ambiente requirió a la fábrica instalar sistemas de control para cumplir con los límites máximos permisibles establecidos por la norma (resolución 909 de 2008), adicionalmente nos informaron que realizaron una búsqueda de empresas que realizaran estos trabajos y gestionaran los equipos, pero no encontraron muchas opciones y que las pocas que encontraron ofertaban equipos costosos.

Se realiza la gestión de los estudios previos del sistema de producción total de la fábrica en donde se evalúa la materia prima que adquiere el cliente y sus proveedores, se evidencia que no existe mejora en la adquisición de nuevas materias primas debido a que las actuales son óptimas y cumplen con la función dentro de la producción, además que no afectan de forma negativa las salidas de la fábrica en cuanto emisiones.

Después se procedió a buscar el sitio y espacio para diseñar el equipo según las medidas del sitio donde se instalar el equipo para su diseño, también se debía analizar que el espacio cumpliera con las normas ambientales y disponer de los equipos para realizarle el monitoreo a la chimenea luego de ensamblado el equipo.

Adicional a esto se procede constantemente a evaluar la calidad de la producción respecto a la instalación del equipo el cual no debía afectar de ninguna manera la calidad del producto, la fábrica siempre debía trabajar al 100% de su capacidad además de tener diseñado el equipo para posibles expansiones de la producción.

Tabla 11. *Gestión de costos*

Actividad	Presupuesto proyectado	Costo real	Valor ganado
1. Equipo Humano	\$ 1,000,000.00	\$ 1,000,000.00	\$ -
2. Equipos y Software	\$ 200,000.00	\$ 200,000.00	\$ -
3. Salidas de Campo	\$ 400,000.00	\$ 380,000.00	\$ 20,000.00
4. Materiales y suministros	\$ 2,300,000.00	\$ 2,150,000.00	\$ 150,000.00
5. Bibliografía	\$ 100,000.00	\$ 95,000.00	\$ 5,000.00
TOTAL	\$ 4,000,000.00	\$ 3,825,000.00	\$ 175,000.00

Durante la ejecución del proyecto se analizó la gestión de los costos donde se contrastó el valor presupuestado al inicio del proyecto respecto al valor real ejecutado.

Luego de hacer este cálculo encontramos que se lograron algunas disminuciones respecto al presupuesto planeado específicamente en los materiales donde se logró una disminución de \$150.000 pesos, pues según los diseños y la productividad de la fábrica se utilizaron menos materiales de los previstos inicialmente. También debemos tener en cuenta que se cumplió con los valores de inversión del cliente.

9.1 JUICIO DE EXPERTOS

Como se explicó en el diseño metodológico de la presente investigación, para la adecuada gestión del análisis de la información se utilizó la herramienta juicio de expertos como medida para la correcta toma de decisiones:

Sobre el diseño del sistema de tratamiento para emisiones de material particulado con

expertos: Para el desarrollo de esta técnica se cuenta con investigaciones que se han realizado en tema, por parte de profesionales altamente reconocidos en el área que han publicado artículos en revistas científicas reconocidas.

Según la *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)*, en su investigación realizada en el

Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias, en este documento se plasma al detalle las descripciones de los dispositivos generalmente utilizados para controlar la MP en fuentes estacionarias, en este caso los ciclones por ser los equipos de interés en el presente estudio. Allí los ciclones manipulan la inercia para quitar partículas de una corriente de gas circulatoria. Al interior de un ciclón, la corriente de gas es obligada a girar dentro de una cámara generalmente de forma cónica.

Tabla 12. *Resultado de juicio de expertos*

NOMBRE	ORGANIZACIÓN	PROFESIÓN	CARGO	EXPERIENCIA	RECOMENDACIONES
GABRIEL ESCOBAR	PSA	INGENIERO AMBIENTAL	GERENTE	15 AÑOS	La mejor tecnología es la de ciclón, teniendo en cuenta los estudios previos del isocinético, se diseña según las necesidades y siguiendo los estudios de la EPA, la cual es muy clara en los parámetros que debe tener el equipo, además de los materiales que se deben usar los cuales deben ser de larga durabilidad y de bajo costo.
JOSÉ RODRÍGUEZ	CIMA	INGENIERO AMBIENTAL	DIRECTOR TÉCNICO	8 AÑOS	Desde mi experiencia en monitoreos y realización de informes a fabricas con chimeneas y del sector textil, es evidente que la tecnología más acorde es la de ciclón debido a su bajo costo de diseño e implementación, para el diseño se recomienda investigar artículo de Dr. Carlos Alberto Echeverri Londoño y tener en cuenta los monitoreos previos al diseño y realizar una optimización de los <u>recursos.</u>

9.2 DISEÑO DEL CICLÓN

Debido a sus altos niveles de remoción de material particulado, se resuelve trabajar en el diseño de un ciclón de alta eficiencia, según la metodología planteada en el artículo científico publicado por el *Dr. Carlos Alberto Echeverri Londoño* en la reconocida revista de investigación *SciELO*, denominada *Diseño óptimo de ciclones “el cual presenta los criterios generales para el diseño de ciclones en el control de partículas e introduce el concepto de velocidad de saltación como parámetro que controla el funcionamiento adecuado del ciclón”* (Echeverri, Carlos).

Metodología empleada:

El procedimiento general de diseño citado por el Dr. Carlos Alberto Echeverri Londoño es el siguiente:

- Seleccionar el tipo de ciclón, dependiendo del funcionamiento o necesidades requeridas.
- Obtener un estimativo de la distribución de tamaño de las partículas en la corriente gaseosa a ser tratada.
- Calcular el diámetro del ciclón para una velocidad de entrada de 22 m/s (opcional), y determinar las otras dimensiones del ciclón con las relaciones establecidas para las familias de ciclones con base en el diámetro
- Estimar el número de ciclones necesarios para trabajar en paralelo.
- Calcular la eficiencia del ciclón y, si se requiere, seleccionar otro tipo de ciclón.
- Calcular la caída de presión del ciclón y, si se requiere, seleccionar otro tipo de ciclón.
- Calcular el costo del sistema y optimizar para hacer el mejor uso de la caída de presión disponible o, si se requiere, para dar el más bajo costo de operación.

Los ciclones generalmente tienen como parámetros de diseño el diámetro del ciclón, la caída de presión y la velocidad de entrada y velocidad de saltación:

Tabla 13. *Parámetros de diseño para los ciclones y entrada tangencial*

Parámetro	Valor
Diámetro del ciclón (DC)	< 1.0 m
Caída de presión	< 2488.16 Pa
Relación de velocidades (V_i/V_S)	< 1.35
Velocidad de entrada	15.2 - 27.4 m/s

Teniendo en cuenta lo referenciado por el Dr. Carlos Alberto Echeverri Londoño y con el ánimo de realizar un correcto diseño del ciclón a continuación realizamos los cálculos de diseño de este sistema para el control de material particulado para la fábrica seleccionada que tiene como razón social “TELAS E HILOS”, se ubica en la localidad de Kennedy y en el momento de la visita técnica no poseía sistema de control y tienen un profundo interés en el proyecto, nos proporcionaron datos y resultados de muestreos isocinéticos realizados a su fuente fija.

DATOS PRIMARIOS

Densidad de la partícula: 1,54 g/m³

Temperatura de salida del gas: 250 °C. Caudal

de la corriente: 1.1 m³/s, Concentración de las

partículas es de 0,3 g/m³

Recordemos que la Resolución 909 de 2008 establece un límite de 50 mg/m³ para material particulado para industrias nuevas de fabricación de textiles, por tanto, la fábrica *TELAS E*

HILOS se encuentra 250 mg/m^3 por encima del límite normativo. De acuerdo a las anteriores cifras se requiere una eficiencia de remoción del 84% es decir se deben remover de la corriente de aire una concentración de 252 mg/m^3 .

La distribución de tamaño de las partículas en la corriente gaseosa es la siguiente:

Tabla 14. *Distribución de tamaño de las partículas*

Tamaño (μm)	% másico
5 - 10	45
10 - 30	25
30 - 50	15
50 - 70	10
70 - 100	5

Como el 45% de las partículas está por debajo de $10 \mu\text{m}$, se requiere un ciclón de alta eficiencia, por lo tanto, seleccionamos un ciclón de la familia de ciclones de alta eficiencia tipo Stairmand.

Tabla 15. *Características de los ciclones de alta eficiencia*

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón		
		Stairmand	Swift	Echeverri
Diámetro del ciclón	D_c/D_c	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/D_c	0.5	0.44	0.5
Ancho de entrada	b/D_c	0.2	0.21	0.2
Altura de salida	S/D_c	0.5	0.5	0.625
Diámetro de salida	D_s/D_c	0.5	0.4	0.5
Altura parte cilíndrica	h/D_c	1.5	1.4	1.5
Altura parte cónica	z/D_c	2.5	2.5	2.5
Altura total del ciclón	H/D_c	4.0	3.9	4.0
Diámetro salida partículas	B/D_c	0.375	0.4	0.375
Factor de configuración	G	551.22	698.85	585.71
Número cabezas de velocidad	NH	6.4	9.24	6.4
Número de vórtices	N	5.5	8.0	5.5

- Cálculo del diámetro del ciclón: para calcular el diámetro del ciclón se emplea la velocidad de entrada de 12 m/s., con este valor se puede determinar el diámetro del ciclón y las otras dimensiones con base en las relaciones establecidas para las familias de ciclones.

$$\text{Área del ducto de entrada: } \text{Área} = \frac{Q}{V_i}$$

$$\text{Área} = 1,1 / 12 = \mathbf{0,091 \text{ m}^2}$$

$$\text{Área del ducto de entrada} = a \times b \quad \text{Para un ciclón Stairmand:}$$

$$\text{Altura de entrada al ciclón (a): } a = 0,5 D_c$$

$$\text{Ancho de entrada al ciclón (b): } b = 0,2 D_c$$

$$\text{Entonces: } D_c = D_c = \sqrt{\frac{0,091}{0,1}} = \mathbf{0,953 \text{ m}}$$

Las otras dimensiones se hallan con base en las proporciones propuestas:

$$\text{Altura de entrada al ciclón (a): } a = 0,5 D_c$$

$$a = 0,5 \times 0,953 = \mathbf{0,476 \text{ m}}$$

$$\text{Ancho de entrada al ciclón (b): } b = 0,2 D_c$$

$$b = 0,2 \times 0,953 = \mathbf{0,190 \text{ m}}$$

$$\text{Altura de salida del ciclón (S): } S = 0,5 D_c$$

$$S = 0,5 \times 0,953 = \mathbf{0,476 \text{ m}}$$

$$\text{Diámetro de salida del ciclón (Ds): } D_s = 0,5 D_c$$

$$D_s = 0,5 \times 0,953 = \mathbf{0,476 \text{ m}}$$

$$\text{Altura parte cilíndrica del ciclón (h): } h = 1,5 D_c$$

$$h = 1,5 \times 0,953 = \mathbf{1,42 \text{ m}}$$

Altura total del ciclón (H): $H = 4.0 D_c$

$$H = 4,0 \times 0,953 = \mathbf{3,81m}$$

Altura parte cónica del ciclón (z): $z = 2.5 D_c$

$$Z = 2,5 \times 0,953 = \mathbf{2,38m}$$

Diámetro salida del polvo (B): $B = 0.375 D_c$

$$B = 0,375 \times 0,953 = \mathbf{0,357m}$$

Según el Dr. Carlos Alberto Echeverri Londoño, solo se necesita un ciclón simple, debido a que el tamaño de la partícula es cercano 1.0 m, adicionalmente aclara que “*este parámetro de diseño es una recomendación, mas no una imposición en el momento de diseñar*” (Echeverri, Carlos). Por otro lado, algunos autores recomiendan que para caudales entre 0.5 y 12 m³/s a condiciones de referencia se utilice un solo ciclón, lo cual se adapta perfectamente a las condiciones actuales, ya que el caudal que tenemos es de 1,1 m³/s.

Tabla 16. *Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones*

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

De acuerdo a las investigaciones realizadas por él, Dr. Carlos Alberto Echeverri Londoño “*los ciclones de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor remoción de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales. Los ciclones de alta eficiencia pueden remover partículas de 5 μm con eficiencias hasta del 90%, pudiendo alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes. Los ciclones de alta eficiencia tienen mayores caídas de presión, lo*

cual requiere de mayores costos de energía para mover el gas sucio a través del ciclón”

(Echeverri, Carlos). Lo cual indica que se logra el diseño de un sistema de tratamiento de alta eficiencia para la remoción de material particulado al alcance de pequeñas empresas.

10. CONCLUSIONES

- Se logra aplicar con éxito algunas técnicas y herramientas en la gestión de Proyectos, para garantizar la consecución de los objetivos y desarrollar el proyecto de manera organizada.
- Se realiza el diseño de un ciclón de alta eficiencia para el control de material particulado generado por pequeñas empresas.
- Se determina que el sistema de control diseñado está al alcance del pequeño empresario, probablemente porque en comparación con el mercado actual, los materiales y mano de obra son mucho más económicos.
- Se presenta una alternativa económica y al alcance del mercado a las industrias, las cuales tienen la oportunidad de invertir y cumplir con la normatividad ambiental.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Arciniegas Suárez, C. (2012). *Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10*. Luna Azul, (34), 195-213. Recuperado de:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S190924742012000100012&lng=en&tlng=es.
- Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. (s. f.). *Pequeñas y medianas empresas*. Recuperado de:
<https://www.cienciasambientales.com/es/noticias-ambientales/biblioteca-virtual-de-desarrollo-sostenible-y-salud-ambiental-6368>
- Echeverri Londoño, C. A. (2006). *Diseño óptimo de ciclones*. Revista Ingenierías Universidad De Medellín, 5(9), 123-139. Recuperado de:
<https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/239>
- Kent, L. (1991). *The relationship between small enterprises and environmental degradation in the developing world (with emphasis on Asia)*. Bethesda, MD: DAI. Preparado para la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos. Recuperado de:
<http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/resipeli/preven/web/filespdf/sec2.pdf>
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, República de Colombia. (2019). *Definición tamaño empresarial micro, pequeña, mediana o grande*. Recuperado de:
<http://www.mipymes.gov.co/temas-de-interes/definicion-tamano-empresarial-micro-pequena-median>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas*. Recuperado de:
https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/GU%C3%8DA_PARA_LA_ELABORACI%C3%93N_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSF%C3%89RICAS.pdf
- Observatorio Ambiental de Bogotá. (s.f.) *605 empresas de Kennedy a bajar su contaminación; nace la tercera Zona Piloto de Recuperación Ambiental en Bogotá*. Recuperado de:
<http://oab.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad/noticias/605-empresas-de-kennedy-a-bajar-su-contaminacion-nace-la-tercera-zona-piloto-de-recuperacion->

[ambiental-en-bogota](#)

Secretaria Distrital de Ambiente. (2009). *Elementos Técnicos del Plan Decenal de*

Descontaminación de Bogotá. Recuperado de:

<https://uniandes.edu.co/sites/default/files/asset/document/parte-2-inventario.pdf>

Secretaria Distrital de Ambiente. (2013). *Informe Sectorial – Vigencia 2012*. Recuperado de:

http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=fac23731-440c-4f40-8f5b-1d59d0afdb5b&groupId=55886

Woodard, K. (1998). *Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias*. Recuperado de:

<https://www3.epa.gov/ttnca1/dir1/pmcontech2.pdf>