

Estudio de las Centrales termoeléctricas, avance en el sector energía y contaminación del aire en Colombia.

Lausla Daynet Espinel Rubio



Universidad De Pamplona
Facultad De Ingenierías y Arquitectura
Programa Ingeniería Civil
Pamplona Colombia
2022

Estudio de las Centrales termoeléctricas, avance en el sector energía y contaminación del aire en Colombia

Monografía para optar el título de Ingeniero Civil

Doc. Jacipt Alexander Ramon Valencia

Lausla Daynet Espinel Rubio



Universidad De Pamplona
Facultad De Ingenierías y Arquitectura
Programa Ingeniería Civil
Pamplona Colombia
2022

Agradecimientos

iii

Una vida extraordinaria se hace del esfuerzo, por ello el agradecimiento va a todas las personas que pusieron su fe y esfuerzo en crear otra vida extraordinaria.

 Mi Madre, Mi Hermano son mis motores, y por ellos he llegado aquí.

 Las palabras de mi padre son gigantes pilares que me levantan en mis momentos dolorosos.

 Mis Profesores que, con cada palabra, era una gota para llenar los caminos del conocimiento, y créeme hablaron mucho, son personas de calidad que alimentan el alma.

En este camino a pocos les puedo decir amigos, y les agradezco por no alejarse de mí, regañarme y apoyarme.

UPME: Unidad De Planeación Minero Energética

PROURE: Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía

MAVDT: Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial

DAA: Diagnóstico Ambiental De Alternativas

EIA: Estudio De Impacto Ambiental

ONG: Organización No Gubernamental

EE: Eficiencia Energética

DNP: Departamento Nacional De Planeación

GN: Gas Natural

PML: Producción Mas Limpia

TSS: Tesorería de la Seguridad Social

LIXIVIADO: es un líquido se encuentra circulando por los residuos de vertederos, proveniente de la descomposición y fermentación de la materia orgánica, consecuencia de la filtración a medida que el agua de lluvia penetra en los desechos y transporta compuestos químicos y materiales biológicos.

ENFICC: Energía eléctrica máxima que una central es capaz de suministrar de forma continua, en condiciones hidrológicas bajas, durante un periodo de un año.

OEF: Obligaciones de Energía Firme

FNCE: Fuentes No Convencionales de Energía

MW: Megavatios

BTU: Abreviatura de British Thermal Unit.

GBTU: Giga BTU.

Tabla de Contenidos

1.	Introducción	2
2.	Objetivos	4
3.	Marco Teórico	5
3.1	Proceso de la termoeléctrica	8
3.1.1	Central térmica convencional	8
3.1.2	Centrales térmicas de ciclo combinado	7
3.1.3	Central nuclear	9
3.1.4	Central de biomasa y central de residuos sólidos urbanos	10
3.1.5	Centrales solares térmicas	11
3.2	Contaminación de las termoeléctricas	13
3.2.1	Contaminantes atmosféricos originados por las centrales	18
3.2.2	Contaminación del agua, alteración del ecosistema acuático	22
3.3	Tratamientos Para los Gases generados por las termoeléctricas	24
3.3.1	Medidas para el decrecimiento de emisiones de NOx	25
3.3.2	Medidas para el decrecimiento de emisiones de SOx	25
3.2.3	Medidas para el decrecimiento de emisiones de COx	26
4.	COLOMBIA	27
4.1	Marco Normativo	28
4.1.1	Gestión Ambiental	28
4.1.2	Constitución Política Nacional	29
4.1.3	Licenciamiento ambiental	30
4.1.4	Normativa sobre el control de contaminación	32
4.1.5	Normas de emisión de contaminantes	33
4.1.6	Normas Sobre Calidad De Los Combustibles	37
4.1.7	Normas De Calidad Del Aire	37
4.2	Política Ambiental	38
4.2.1	Políticas de producción limpia	38
4.3	Estado del Arte	40
4.4	Metodología	42
4.5	Demanda energética	42
4.6	Eficiencia Energética	44
4.7	Termoeléctricas de Colombia	46
4.7.1	Estudio de emisiones y Contaminación de las termoeléctricas	53
4.7.2	Evaluación Del Cumplimiento De Las Normas	57
4.7.3	Alternativas de obtención de Energía asequible y no contaminante	60
4.7.4	Avance en la gestión del cambio climático	62
5.	Conclusiones	66
6.	Lista de referencias	68

Tabla 1. Emisiones de contaminantes de acuerdo con el combustible empleado. Fuente: DE, T. Y. P. Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene 1999.....	19
Tabla 2. valores limite, para el requerimiento de permiso de emisión atmosférica. Fuente: DE, T. Y. P. Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene 1999.....	32
Tabla 3. Discernimientos previos a la diligencia de las reglas de emisión. Fuente: DE, T. Y. P. Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene 1999.....	34
Tabla 4. Normas de emisión de partículas para calderas. Fuente: Art 48, decreto 02 de 1982.....	34
Tabla 5. Factores de modificación de la norma de emisiones de fuentes fijas. Fuente: Art. 48, decreto 02 de 1982.	35
Tabla 6. Normas de emisiones de partículas. Fuente: Art. 49, decreto 02 de 1982.....	35
Tabla 7. Elevación mínima solicitada para la emisión de SOx en calderas de carbón. Fuente: Art. 79, decreto 02 de 1982.	36
Tabla 8. Coeficientes de corrección para las emisiones de MP para calderas de carbón. Fuente: Art. 5, decreto 02 de 1982.	37
Tabla 9. Patrones de emisiones admisibles de contaminantes al aire. Fuente: Propuesta de reglas de emisión de contaminantes a la atmósfera. MAVDT.	37
Tabla 10. Pautas de calidad del aire. Fuente: Decreto 02 de 1982.	38
Tabla 11. políticas de producción limpia. Fuente: MA, Política Nacional de PML 1997.	39
Tabla 12. cinco estrategias planteadas por el PRTL. Fuente: DE, T. Y. P. Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene 1999.....	40
Tabla 13. Relación de fuentes.....	41
Tabla 14. Potencial según medidas de eficiencia energética(a). Fuente. CONPES 3855 pg. 17 - UPME, 2015	46
Tabla 15. Termoeléctricas de Colombia y su ubicación.	47
Tabla 16. Características de plantas térmicas en operación con Carbón.	49
Tabla 17. Características de plantas térmicas a gas.	50
Tabla 18. Características de plantas térmicas con derivados de petróleo.	50
Tabla 19. Datos de plantas de carbón 2021. Fuente. CONCENTRA	51
Tabla 20. Datos de plantas a gas Natural 2021. Fuente. CONCENTRA	52
Tabla 21. Datos de plantas a gas Natural y Gas Natural Licuado 2021. Fuente. CONCENTRA ..	52
Tabla 22. Datos de plantas trabaja con derivados del petróleo 2021. Fuente. CONCENTRA	53
Tabla 23. Emisión de contaminantes centrales de carbón. Fuente. Valoración de las centrales termoeléctricas en Colombia	54
Tabla 24. Valores de emisión de centrales de gas en 2007. Fuente. Valoración de las centrales termoeléctricas en Colombia	56
Tabla 25. Comparación de los Valores obtenidos y la Guía del Banco Mundial (mg/m3). Fuente. Valoración de las centrales termoeléctricas en Colombia.....	57
Tabla 26. Comparación de protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica para las fuentes fijas (mg/m3). Fuente. Valoración de las centrales termoeléctricas en Colombia	59
Tabla 27. Comparación de los valores obtenidos, Guía del Banco Mundial y protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica para las fuentes fijas (mg/m3). Fuente. Valoración de las centrales termoeléctricas en Colombia.....	59

Lista de figuras

vii

Figura 1. Proceso de Central térmica convencional. Fuente: Edesa Educa	3
Figura 2. Turbina a Vapor, vista superior. Fuente: TGM grupo WEB	4
Figura 3. ciclo de una turbina a gas. Fuente: DE, T. Y. P. Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene 1999.	5
Figura 4. ciclo stig. Fuente: DE, T. Y. P. Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene 1999. .6	
Figura 5. Turbina de vapor. Fuente: DE, T. Y. P. Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene 1999.	7
Figura 6. proceso de central térmica de ciclo combinado. Fuente: Edesa educa.	8
Figura 7. ciclo combinado. Fuente: DE, T. Y. P. Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene 1999.	8
Figura 8. central nuclear. Fuente: Foro Nuclear.	10
Figura 9. proceso Central de biomasa y central de residuos sólidos urbanos. Fuente: Edesa educa.	11
Figura 10. central solar Térmica de Andalucía, Sevilla, España.	13
Figura 11. Emisión de productos contaminantes por chimeneas de las termoeléctricas. Fuente, Foro Nuclear.	14
Figura 12. Enfriamiento de circuito abierto. Fuente, Shutterstock.com.	15
Figura 13. Evolucion de la Demanda de Energía eléctrica en Colombia. Fuente: Rev. Territorio de inversión en fuentes no convencionales de energía renovable para la generación eléctrica	43
Figura 14. Proyección anual de demanda energía eléctrica (GWh-año). Fuente: Rev. Plan de expansión de referencia generación UPME	43
Figura 15. proyección anual de demanda energía eléctrica (GWh-año) para el SIN. Fuente: UPME, Base de Datos (junio 17, 2021)	44
Figura 16. Mapa de la ubicación de las termoeléctricas de Colombia. Fuente: Web Concentra, inteligencia en energía.	48
Figura 17. Diagrama de proceso simplificado de una planta carboeléctrica. Fuente: UPME, Guía Ambiental Proyectos carboeléctricos.	49
Figura 18. Matriz de Análisis de Contaminantes Fuente: MAVDT protocolo para el control de la contaminación atmosférica 2010	58

Resumen

La presente monografía, se hace un estudio de las termoeléctricas en Colombia, con el propósito de identificar la cantidad de emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI), teniendo en base la normativa colombiana. Buscando un diagnóstico de emisiones generadas por esta, el reglamento y los esfuerzos de UPME para una energía limpia. Entendiendo las alternativas preventivas para reducir los impactos en el medio ambiente que el sector de energía produce e identificar el avance que ha tenido a lugar los objetivos en Colombia.

Abstract

In this monograph, a study of thermoelectric plants in Colombia, with the purpose of identify the amount of Greenhouse Gas (GHG) emissions, based on Colombian regulations. Looking for a diagnosis of emissions generated by this, the regulation, and the efforts of UPME for clean energy.

Understanding the preventive alternatives to reduce the impacts on the environment that the energy sector produces and identifying the progress that the objectives have taken place in Colombia.

1. Introducción

Las primeras empresas de generación de energía fueron implementadas a finales del siglo XIX, siendo una historia con poco recorrido, pero aun así la generación termoeléctrica tiene un papel esencial en el sector eléctrico de Colombia.

Actualmente las hidroeléctricas son el primer productor de energía en Colombia, pero no es capaz de suplir en su totalidad la demanda energética del país, esto debido a que hay áreas que no cuentan con un recurso hídrico suficiente para una hidroeléctrica y para temporadas cuando la sequía se presenta o el Fenómeno de El Niño, las hidroeléctricas entran en crisis. Por ello como respaldo y segunda productora de energía se tiene las termoeléctrica, que a pesar de tener un costo adicionales, pues esta es una gran consumidora en Gas Natural, Carbón y Fósiles, también tiene una aportación en contaminación debido a sus de emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Las primeras termoeléctricas tenían como combustible el carbón, se implementaron otros tipos de combustible. Combustibles que no tengan un gran número en la emisión de GEI, siendo así el Gas Natural. Actualmente Colombia cuenta con más de diez termoeléctricas que trabajan con Gas Natural, cinco termoeléctricas trabajan con Carbón y tres con combustibles fósiles.

En estudios se identifica que las centrales de Gas Natural tienen bajos número de emisiones de GEI, a diferencia de las centrales de Carbón. Aun así, se buscan alternativas de combustibles, no solo para la disminución de las emisiones, pues puede que sean bajos los valores, aun así, las termoeléctricas cuentan como uno de los mayores ayudantes en la

contaminación; También por que puede haber otros riesgos como una disminución de oferta de Gas Natural.

Como se dijo anteriormente, la energía es fundamental, por ello Colombia cuenta con una normativa extensa, también con entidades que buscan una mejora en esta área, los cuales realizan planificaciones, proyecciones, entre otras.

2. Objetivos

Identificar, Conocer las centrales termoeléctricas de Colombia, su generación de contaminación, alternativas y cumplimiento de la normativa.

Objetivos específicos

Identificar las termoeléctricas de Colombia, buscando su número, tecnología, ubicación, entre otros datos.

Conocer la emisión de GEI (Gases de Efecto Invernadero) de las termoeléctricas de Colombia.

Identificar alternativas, para el tratamiento de los gases generados en los procesos de producción de energía eléctrica.

Establecer cumplimiento de los proyectos propuestos por las entidades competentes, para cumplir con el avance del sector energía en Colombia.

2. Marco Teórico

La energía tiene una larga historia que para muchos comienza con el fuego, pero esta tiene inicio en el sostenimiento de la vida, obtenido a través del alimento disipándose en pérdidas de calor. Para el hombre que ha logrado actuar sobre el medio ambiente, hace un aprovechamiento de un 20% de la energía captada de forma mecánica.

Cabe remarcar que la energía tiene una amplia clasificación, una de las más comunes es energía Mecánica, Eléctrica, Luminosa, química, Nuclear; esta también se clasifica por su fuente de proveniencia como las energías Eólicas, Solares, Hidráulicas, Geotérmicas y de Biomasa. De aquí tenemos otra clasificación que es:

Energía primaria, la cual es toda aquella que se obtiene de la naturaleza es decir que no requiere un centro de transformación, tales como energía solar o la leña, también entra la hidroenergía

Energía secundaria, contrario a la energía primaria esta se obtiene mediante un proceso de producción en un centro de transformación

Energía efectiva, es la suma de la energía primaria con parte de la energía secundaria, pues no se debe tener en cuenta la producción total, ya que la energía secundaria se obtuvo a partir de la energía primaria.

Energía útil, es la energía final, que es la que se dispone para el consumo final.

El hombre se dio cuenta de la importancia de la energía convirtiéndola en su propia historia, ya que si nos damos cuenta la historia de la humanidad consiste en una larga búsqueda de fuentes de energía y sus formas de explotación, evolucionando o creciendo no solo el valor de esta si no también su aprovechamiento.

Por ello se han generado varios métodos o modelos para la obtención de la energía, siempre en busca del “aumento del consumo de energía per cápita” (Roberto E, 2003), así como de su consumo global. Entre las primordiales fuentes de obtención de energía eléctrica, tenemos:

La energía hidroeléctrica, la cual a través de la construcción de represas aprovecha las fuentes hídricas y la fuerza de estas, para girar una turbina y con los generadores producir electricidad.

La energía eólica, esta aprovecha la fuerza del viento, que al producir movimiento los aerogeneradores generan energía.

Centrales mareomotrices, mediante un alternador, se aprovecha del movimiento del mar (mareas), para producir energía.

La energía termoeléctrica, esta utiliza el calor para hacer vapor el agua y generar movimiento en la turbina y el alternador genera electricidad.

A pesar de los métodos variados, en todos se tienen sus pros y sus contras; dentro de estas centrales eléctricas se les está clasificando según su fuente y que no sea dañina con el medio ambiente, llamadas energías renovables y no-renovables. Para las energías renovables tenemos que en la actualidad la hidroeléctrica es una de las fuentes que más notables de energía eléctrica, con una capacidad de generación total mundial de 1230

GW, siendo un abastecimiento cerca del 16% de demanda global de electricidad, muy por encima de otras fuentes como la solar y la eólica.

La energía termoeléctrica no entra en el sistema de energía renovables, pues al utilizar combustibles como el carbón, gas natural, entre otras materias primarias que no se pueden reponer, hacen de estas centrales energías no renovables. Aun así, el uso de esta es bastante amplia.

Por ello se enfocará en la energía termoeléctrica, esta tiene sus inicios en la Era Industrial, cuando después de que los molinos hidráulicos y la obtención de energía era un mundo de madera, agua y viento. Notándose el límite de estos cuando el uso indiscriminado de la madera frenara el crecimiento debido a los escasos, llegando así la energía termoeléctrica empleando otros tipos de materiales como el carbón, combustibles fósiles (aceite) o gas natural.

El humano actúa sobre el medio ambiente (hace uso de él), y aprovecha todo su recurso, durante la historia vemos bien sea el caso antes de la era industrial, que por el uso excesivo de la madera hubo escasos de esta, notando una destrucción masiva del medio ambiente. así que la necesidad de obtener energía se ha convertido en un suceso que no solo beneficia sino también nos afecta del mismo modo, la energía termoeléctrica no queda exenta a este hecho, el proceso que tiene una central tiene gran incidencia en el medio ambiente.

En vista de los impactos medioambientales de la generación de energía, muchas entidades internacionales como IRENA, ONU, y las regionales y nacionales. Han estado buscando una manera de prevenir y mitigar los contaminantes que generan las centrales

térmicas, y si bien a través del tiempo se han venido planteando diversos procesos en una termoeléctrica para evitar sus contaminantes y por supuesto sin dejar de lado la eficiencia de esta. No hay todavía una termoeléctrica que cumpla con las especificaciones de una energía limpia.

3.1 Proceso de la termoeléctrica

Una explicación general del funcionamiento de una termoeléctrica es el uso del calor para aumentar la temperatura del fluido (agua) transformándola en vapor a alta presión, el vapor liberado llega a la turbina para que su propagación logre el movimiento de los alabes, de este modo la energía térmica pasa a ser energía cinética.

Pero como se ha venido mencionando las termoeléctricas también han avanzado en busca de un pro al cuidado del medio ambiente y se han establecido varias clases de centrales térmicas, siendo en cada una un proceso algo variable.

Primeramente, se mencionará las clases de centrales térmicas, las cuales son:

- centrales térmicas convencionales en la cual entra las plantas térmicas de carbón
- centrales térmicas de ciclo combinado
- centrales térmicas de Fuel
- centrales nucleares
- centrales de biomasa
- centrales solares térmicas
- centrales de residuos sólidos urbanos.

3.1.1 Central térmica convencional, también conocida como termoeléctricas convencionales, estas son de las más comunes, en su proceso emplean combustibles de origen fósil, también gas natural, carbón, o fuel oíl. El funcionamiento de estas centrales

en su base comparte gran similitud independientemente del tipo de combustible que se esté utilizando. Sin embargo, las diferencias de estas son el tipo de quemadores de las calderas que varían por el combustible, también en el tratamiento preliminar que se le hace al combustible. Así que cuando el combustible sea carbón este debe ser triturado previamente, cuando el combustible sea fuel oil este se tiene que calentarse y cuando el combustible sea de gas natural, llegara directamente por gaseoductos evitando un almacenamiento previo.

La central térmica convencional está compuesta de diversos elementos que hacen realizable la conversión de los combustibles como carbón, gas natural, y de fuentes fósiles en energía eléctrica. Iniciando por la caldera que es el lugar en donde el agua tiene un cambio de estado líquido a vapor debido a la quema del combustible, las serpentines que son las tuberías donde se realiza un intercambio de calor entre los gases de la combustión y el agua, la turbina de vapor es el mecanismo que gira al recoger el vapor del agua con el complejo sistema de presión, y por último un generador es el mecanismo que recolecta la energía mecánica formada en el eje que atraviesa la turbina, convirtiéndola en energía eléctrica (figura 1).

Dicho esto, vemos que el proceso de las termoeléctricas convencionales, es general, eso quiere decir que el combustible se quema en la caldera, para que este genera energía térmica que al estar en contacto con los serpentines que transportan el agua, calienta el agua al punto de hacerla hervir, y se convierte en vapor a muy alta presión. Luego, ese vapor llega a la turbina y la hace girar, transmutando la energía térmica en una energía mecánica que, posteriormente siendo transformada en energía eléctrica en el

alternador. Esta corriente cruza por un transportador que intensifica su tensión y permite ser transportada. El vapor que es expulsado por la turbina se remite a un condensador para para pasar de estado gaseoso a líquido y devolverla a la caldera, para así iniciar nuevamente un periodo de producción. (Endesa educa, 2019)

Muchos casos el ciclo de condensar el agua, queda abierto, esto quiere decir que el agua de devuelto al lugar que se obtuvo.

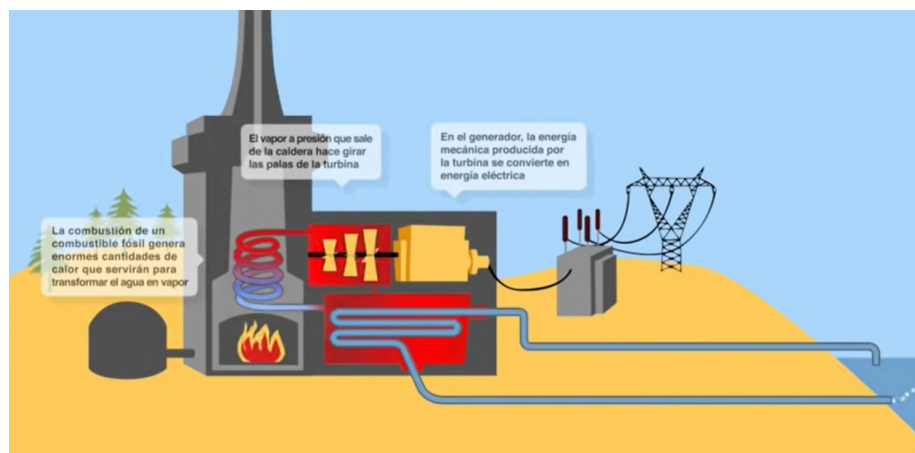


Figura 1. Proceso de Central térmica convencional. Fuente: Edesa Educa

3.1.1.1 Turbinas

Comúnmente se presenta dos tipos de turbinas. Las turbinas a gas son motores de combustión interna o externa y Las turbinas a vapor (figura 2) son elementos maquinales; ambas aprovechan la energía termodinámica proveniente de los gases de combustión, para ejercer un esfuerzo sobre los alabes de la turbina que se encuentran adheridos a un rotor, el cual posteriormente convierte esta energía en trabajo mecánico y finalmente en energía eléctrica mediante un generador. (Joseph G. 1981)

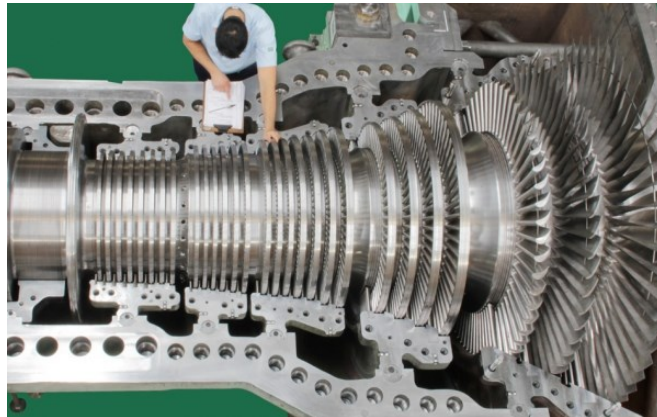


Figura 2. Turbina a Vapor, vista superior. Fuente: TGM grupo WEB

Turbina a gas en ciclo simple

Una turbina de gas simple se divide en tres fracciones: el primero es el compresor, donde este recibe aire para que posteriormente este sea comprimido, una vez el aire comprimido salga entre en la segunda parte que es la cámara de combustión, en el que se añade el combustible que puede ser gas natural o fuel oil N.º 2, este procedimiento de combustión es aplicado en escenarios de presión constante, generando un aumento considerable en la temperatura de los gases causados en el desarrollo de combustión. Después se pasa a la tercera parte que es la turbina de potencia (figura 3), obteniendo potencias que alcanzan a variar de 200 kW hasta 280 kW, por otra parte, las eficiencias comprenden entre 16% y 39%. (Ministerio del Medio Ambiente, 1999)

Como nota se establece que para estas turbinas demandan combustibles como el gas natural y el aceite liviano, conocidos como combustibles limpios.

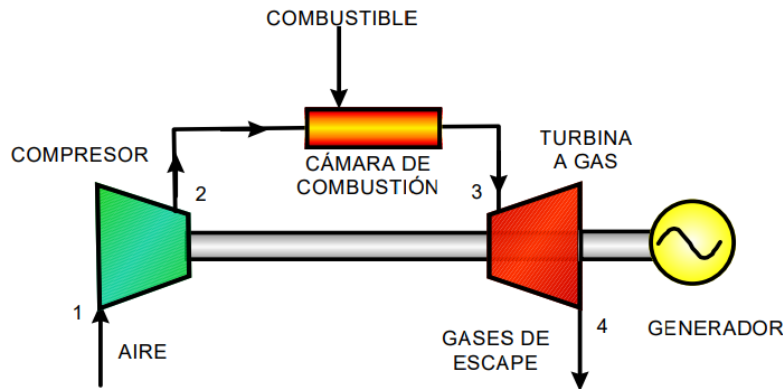


Figura 3. Ciclo de turbina a gas. Fuente: DE, T. Y. P. Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene 1999.

Turbinas a gas en ciclo Stig

En este ciclo, se introduce vapor en la turbina de gas, junto con el gas de combustión; con la finalidad de aumentar el flujo que pasa a través de la turbina y así aumentar su potencia y eficiencia. El vapor se genera en una caldera de calor residual haciendo aprovechamiento de la energía contenida en el escape de la turbina a gas (figura 4).

Los fundamentos termodinámicos de este ciclo son esencialmente los semejantes que los de una turbina de gas, en el que se le afina una caldera de recuperación, donde el calor residual contenido en el gas produce vapor, que se inyecta en la turbina. Mientras a términos de potencia y eficiencia, el ciclo Stig puede llegar a generar potencias hasta de 50.000 kW, con eficiencias de generación eléctrica del 43%, estas fundadas en el poder calorífico del combustible (Ministerio del Medio Ambiente, 1999)

Como nota se establece que para estas turbinas se utiliza combustibles de gas natural y Fuel Oil No.2

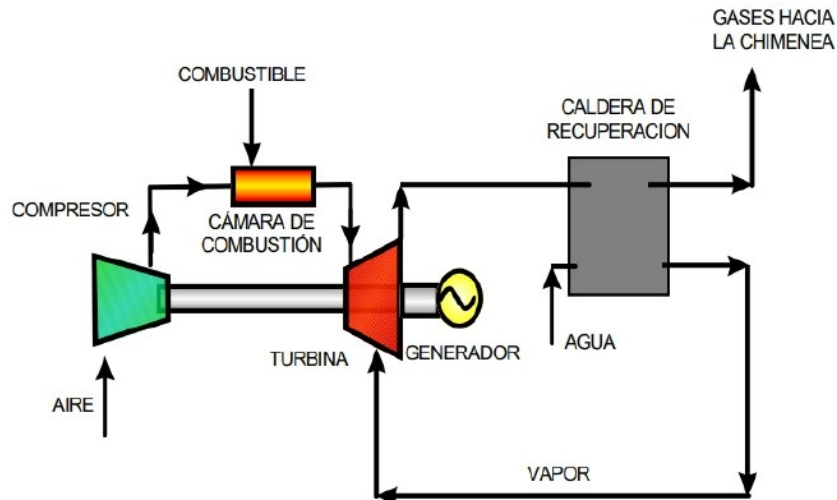


Figura 4. ciclo stig. Fuente: DE, T. Y. P. Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene 1999.

Turbinas a vapor en ciclo Rankine

El ciclo termodinámico conocido como ciclo de Rankine, funciona a partir de las turbinas a vapor, es un proceso que al final el fluido implementado regresa a su estado inicial. El esquema de este proceso está dividido en cuatro pasos o secciones como se logra evidenciar en la figura 5.

En estas turbinas se logra manejar una amplia diversidad de combustibles tales como el carbón, gas, biomasa, Fuel Oil N°2, entre otros y por ende se puede obtener eficiencia de hasta 40 %, generando potencias de 30 MW hasta 1200 MW. (Ministerio del Medio Ambiente, 1999)

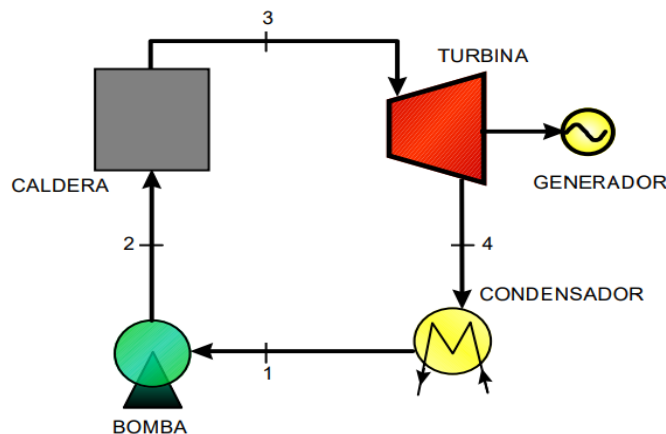


Figura 4. Turbina de vapor. Fuente: DE, T. Y. P. *Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene* 1999.

3.1.2 Centrales térmicas de ciclo combinado, como su nombre lo indica es un trabajo compuesto de dos tipos de turbina una de gas y otra de vapor. Estas centrales son más flexibles que las convencionales, esto quiere decir que operan a toda carga o también con cargas fragmentadas, haciéndolas más eficientes, y la emanación de CO₂ en relación de los kilovatios/hora son inferiores a más de la mitad de las emisiones que puede generar una central térmica de carbón. (Endesa educa, 2019)

Esta central, a pesar de ser combinada tiene menos componentes, siendo estos la turbina de gas, el compresor, la cámara de combustión, turbina de vapor y cierra con una caldera de recuperación.

Este proceso comienza cuando el aire originario del exterior se comprime a elevadas temperaturas en el compresor, donde se traslada a la cámara de combustión mezclándose con el comburente. Estos gases generados por la ignición pasan por la turbina de gas en el cual se expanden, haciendo que la energía calorífica se transmita al eje convirtiéndola en energía en mecánica. En la segunda parte de este proceso comienza cuando los gases provenientes de la turbina de gas son evacuados y llevados a una

caldera de calor residual con el fin de volver a producir vapor, generándose un ciclo de agua vapor que ejecutar el giro de la turbina de vapor, y el vapor pasante, llega a condensación y así se tiene el ciclo de producción de vapor (figura 6).

Para estas plantas térmicas de ciclo combinado, puede obtener potencias hasta los 480 MW, y alcanzar eficiencias de un 60%.

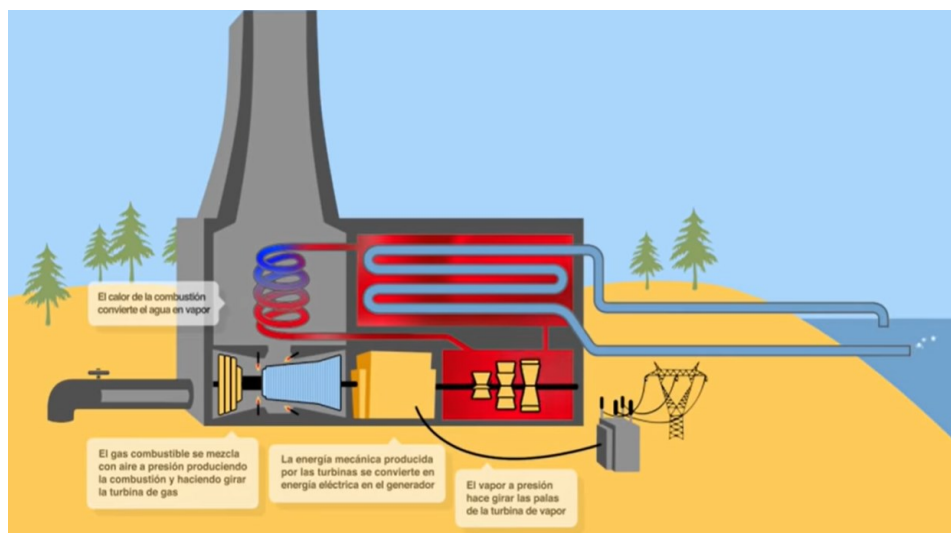


Figura 5. proceso de central térmica de ciclo combinado. Fuente: Edesa educa.

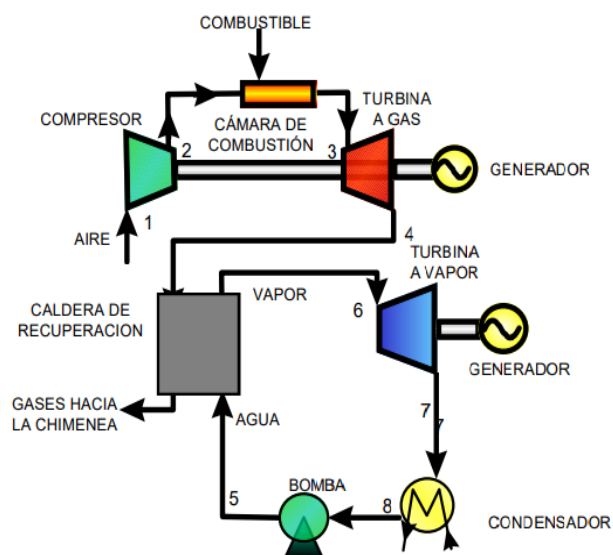


Figura 6. ciclo combinado. Fuente: DE, T. Y. P. Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene

3.1.3 Central nuclear, esta central a pesar de su nombre es familia de las termoeléctricas pues su principal objetivo es utilizar el calor para generar la energía eléctrica, claro está que entre todas las termoeléctricas esta tiene un método muy único para la obtención del calor, pues aprovecha la fisión de los elementos como el uranio y el plutonio, y bien estos materiales no generan contaminantes como el óxido de carbono, azufre, nitrógeno u otros, pero su impacto en el medio ambiente tiene que ver con la extracción, el concentrado y enriquecimiento del uranio, sin olvidar los residuos radioactivos de larga duración.

El funcionamiento de esta central es similar a las centrales térmicas convencionales el único cambio es que el combustible es el uranio o el plutonio, por lo cual se comienza con la fisión del uranio que es llevada a cabo en el reactor nuclear, el cual libera una gran cantidad de energía calórica, que evapora el agua, por consiguiente el vapor se transporta al conjunto de turbina-generador, donde la acción del vapor gira la turbina y el generador transforma la energía mecánica en electricidad, el vapor que ya pasó por la turbina se condensa para así tener un circuito de agua- vapor (figura 8). Lo especial en estas centrales es que los residuos generados por la fisión de uranio son reunidos y almacenados dentro de la misma central, en piscinas hechas de hormigón especial para estos materiales radiactivos. (Endesa educa, 2019)

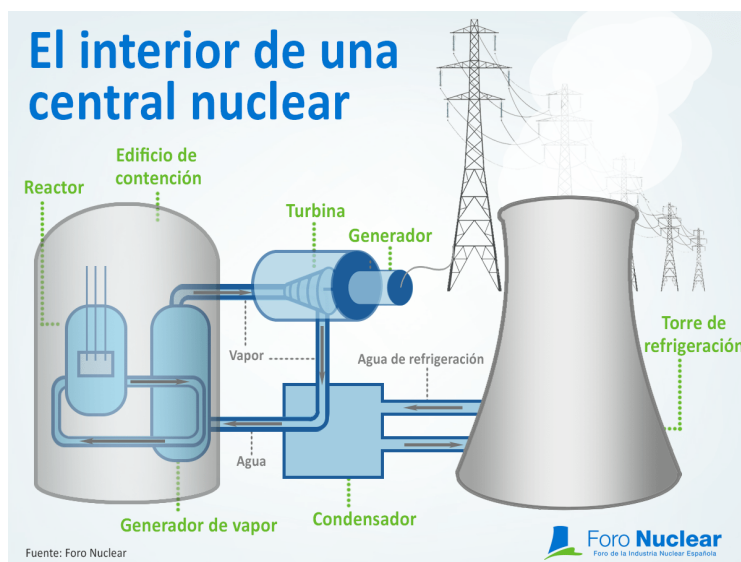


Figura 7. central nuclear. Fuente: Foro Nuclear.

3.1.4 Central de biomasa y central de residuos sólidos urbanos, como sus nombres lo indica para estas centrales el combustible a utilizar son la biomasa y los residuos sólidos urbanos respectivamente. tienen el mismo proceso que otras centrales térmicas convencionales, solo que para este caso el combustible cambia y los residuos se guardan en la central, donde para el caso de la biomasa se hace necesario reducir el tamaño, clasificándolos, y para los residuos sólidos urbanos se hace una exhaustiva clasificación de que materiales tienen utilidad o no.

Cuando ya está el combustible preparado es transportado a la caldera para su combustión, donde el líquido (agua) de las tuberías tenga un cambio y pase a ser vapor, siendo el resto el semejante a la central termoeléctrica convencional (figura 9).

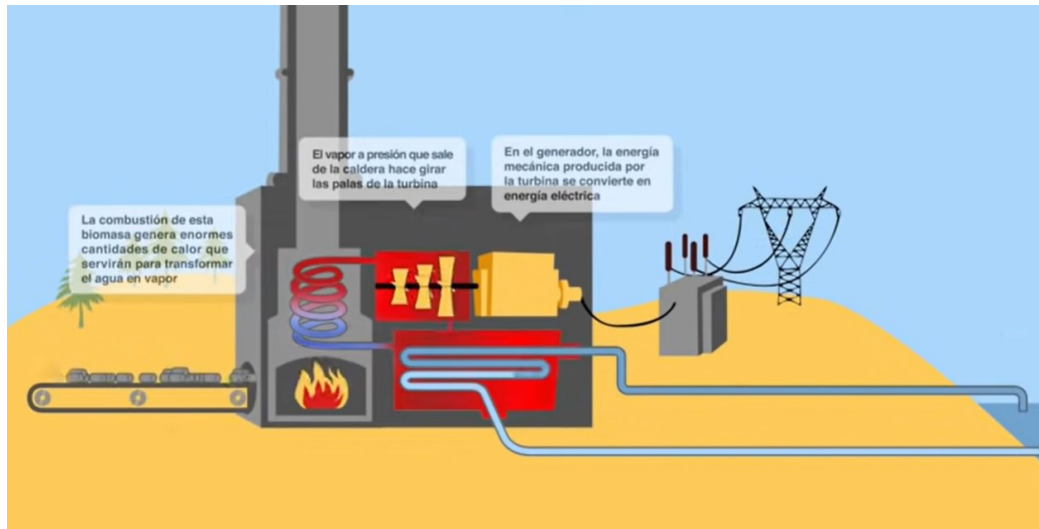


Figura 8. proceso Central de biomasa y central de residuos sólidos urbanos. Fuente: Edesa educa.

3.1.5 Centrales solares térmicas, estas centrales tienen como propósito aprovechar la radiación solar para generar energía eléctrica, cabe mencionar que para este esté hay dos tipos de instalaciones, la termo solar y la fotovoltaica. Para el caso de la central termo solar, cuenta con un procedimiento similar a las termoeléctricas convencionales en pocas palabras a partir del calentamiento de un fluido con el cual generando vapor se consigue mover un alternador; mientras que para el caso de las instalaciones fotovoltaica, la energía se obtiene directamente a través de paneles los cuales al captar la energía del sol, se consigue una transformación debido a las células fotovoltaicas que están fabricadas con materiales semiconductores.

Por ello se focalizara en las centrales termo solares, pero he aquí tenemos nuevamente una división, de lo cual contamos dos de las más importantes termo solares de este modo son las centrales de torre central, el cual sitúa de una agrupación de espejos direccionales con dimensiones enormes como se ve en la (figura 10), los cuales centralizan es decir reúnen la radiación solar en un punto, el calor captado se traslada a

un líquido que circula dentro de la caldera transformándolo en vapor, y como las termoeléctricas convencionales se forma el ciclo de agua-vapor; por otro lado las centrales de colectores distribuidos, son centrales que utilizan los colectores de concentración lo cuales aumentan la intensidad de la radiación solar sobre una zona, con una obtención de temperaturas altas que alcanzan hasta los 300°C, bastante para obtener vapor a alta temperatura.

Dicho esto, ampliando el campo de visión del funcionamiento de una central termo solar, dicho anteriormente formada por una zona de espejos que reflejan la luz solar y concentran los rayos solares en la caldera que se encuentra situada en una torre de gran altura. Dentro de esta caldera se encuentra un fluido que absorbe la energía calórica, dirigiendo este fluido en un generador de vapor, por consiguiente, transmite su calor a un segundo fluido siendo este el agua para así por las altas temperaturas obtener vapor. Este vapor llega a la turbina de vapor que al girar se obtiene energía mecánica, por consiguiente, esta se transformara en electricidad por medio de un alternador. El vapor pasa por un proceso de condensación para iniciar un ciclo de producción de vapor.

“Cabe mencionar que el tiempo de funcionamiento de esta central está dado por las horas de insolación, por ello se suele intensificar o acrecentar su producción con sistemas de aislamiento térmico intercalándolos en el circuito de calentamiento.” (Oriol Planas, 2017)



Figura 9. central solar Térmica de Andalucía, Sevilla, España.

3.2 Contaminación de las termoeléctricas

conociendo el proceso de cada uno de los tipos de centrales termoeléctricas podemos identificar cuáles son los impactos de cada una, claro está que algunas buscan mitigar sus efectos, pero para el infortunio la mayoría de las plantas construidas o manejadas son las convencionales, combinadas o nucleares, ya que las otras centrales presentan inconvenientes, tales como: las centrales solares térmicas siendo esta una incertidumbre total, ya que, al depender de la radiación solar, las variabilidades meteorológicas son su peor enemigo, sin contar que los costos para su explotación son bastantes altos y aun le faltan eficiencia en los sistemas de concentración y almacenaje.

Para el caso de la central de biomasa, están tienen un gran potencial, en su defecto el planeta no es capaz de suplir las necesidades energéticas de la humanidad, pues se necesitaría una gran cantidad de biomasa renovable y sostenible, sin embargo el consumo de este recurso es limitado con la necesidad y la capacidad de la Tierra por ende se necesitaría de la explotación a gran nivel de los recursos forestales, indicando una

extenuación de los recursos y una incapacidad de conservar el consumo por más bajo de la capacidad de regeneración, dando lugar a efectos medioambientales negativos.

Pasados los años la humanidad se dio cuenta de las afectaciones que sus acciones tienen para el medio ambiente. Cuando nos fijamos en la energía, todo uso de ella soporta diversos tipos de contaminación o alteración del medio ambiente. En la termoeléctrica se resalta bastante que la combustión de los combustibles genera emisiones de gases de efecto invernadero, pero detrás de ellos viene más contaminaciones pues los materiales llamados combustibles (residuos fósiles), ya sea en su extracción, tratamiento, transporte, generan contaminación en los elementos básicos de la naturaleza (agua, aire y tierra).

ya bien se conoce el proceso general de los tipos de termoeléctrica, ignoramos todo lo fuera a la central y percibiendo así los impactos ambientales internas de cada una de las centrales, tales como:

las centrales térmicas convencionales, afectan al medio ambiente de dos formas, primera: la quema de los residuos fósiles (combustible) genera partículas de CO, SO₂ y óxidos de nitrógeno, emitiendo estos a la atmosfera, perjudicando la calidad de aire y aumentando el infecto invernadero.



Figura 10. Emisión de productos contaminantes por chimeneas de las termoeléctricas. Fuente, Foro

Nuclear.

Segundo: la transferencia térmica, las centrales que cuentan con in ciclo abierto provocan el calentamiento de las fuentes donde obtiene el agua ya sea de ríos o mares (figura 12). Lo cual afectando a los individuos, poblaciones y comunidades marinas obteniendo una alteración en los ecosistemas acuático.

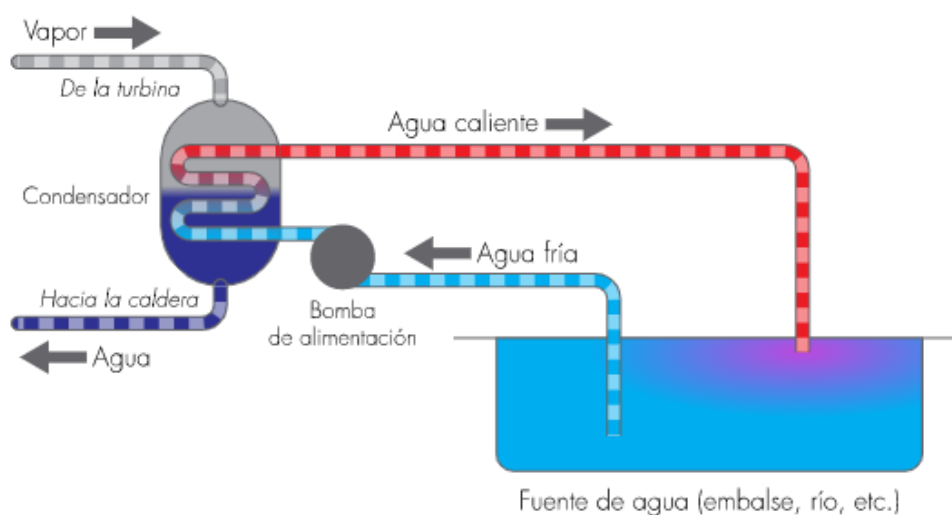


Figura 11. Enfriamiento de circuito abierto. Fuente, Shutterstock.com.

Para ambos casos se han implementado ciertas medidas para mitigar dichas afectaciones tales como chimeneas de gran altura para así lograr una dispersión de las partículas, localmente mejorando su influencia en el aire. También la implementación de filtros de partículas, los cuales deben retener una gran parte de las partículas nocivas. Y para el calentamiento de ríos o mares, se utilizan sistemas de refrigeración el cual enfría el agua a una temperatura adecuada antes de que esta sea devuelta a cauces fluviales.

Centrales térmicas de ciclo combinado, Funcionan con gas natural y son más ecológicos que otras tecnologías de generación de energía. Además, forman parte de las políticas ambientales de muchos países.

Pero no es una central totalmente limpia, y si bien es cierto que al quemar gas natural se tiene una producción menor en dióxido de carbono, en cambio sí dispersa otros gases perjudiciales tales como el mercurio, óxidos de nitrógeno y azufre, y no olvidemos que durante la extracción del gas natural conlleva a contaminación del suelo, agua y aire, pues para su extracción el suelo tiende a ser fracturado haciendo que el suelo sea más susceptible a erosiones y durante este proceso de fragmentación del suelo se presentan fugas de gases y partículas, no solo hacia el aire sino también para las aguas subterráneas y mares.

Las centrales nucleares, bien se es conocido que estas centrales no aportan al calentamiento global, ya que estas no utilizan combustibles que emitan partículas, óxidos de carbono, azufre ni otros procedentes. En todo caso, esta central debe tener un estricto control dentro de todos sus procesos ya que esta energía nuclear es altamente radiactiva y con los residuos radiactivos se mantienen activos durante cientos de miles de años, por ello se debe velar por una buena seguridad de los trabajadores, también de la población en general y contar con una gestión adecuada a la hora de cerrar o desmontar la planta pues estas tienen una vida útil, por ello se debe desmantelar al terminar.

Por último, tener cuidado con el cometido, tanto en la extracción, el condensado y enriquecimiento del uranio.

Central de Biomasa, por parte de esta central se cuenta con un balanceo del CO₂ propicio, tal que la adquisición de la biomasa se lleve a cabo de una manera que no genere impactos, es decir que la obtención sea renovable y sostenible. Siendo así, la materia orgánica es suficiente en retener más CO₂ del que expulsa su ignición, evitando el incremento de CO₂. Con relación a lo anterior, notamos que el recurso de la biomasa sostenible es limitable, por ende, llevaría a la necesidad de utilizar los recursos forestales a una gran escala, dando a lugar a deforestación y elevación de emisiones de CO₂, contribuyendo al cambio climático.

Central solar térmica, si bien es cierto que estas centrales no utilizan ningún tipo de combustibles haciéndola una fuente de energía inagotable, por lo cual no generan emisiones atmosféricas, ni efluentes líquidos.

En todo caso notamos que para la implementación de este tipo de plantas se necesitan grandes extensiones de tierra, generando impacto en el paisaje y en el suelo, pues los espejos requieren de limpieza y enfriamiento por ende se utilizan ciertos productos (ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, fluoruro de hidrógeno, acetona, ácido nítrico, entre otros) que afectan al suelo, y cabe mencionar que al terminar la vida útil dejan residuos que requieren tratamientos concretos. Retomando tenemos también un efecto negativo en la vida silvestre y las aves, esto debido a que los pequeños animales como los bichos llegan a ser cautivados por la luz dirigiendo a las aves que los cazan en una zona donde la luz y el calor es enfocado quemándolas y habiendo disminución de estas, y así el ciclo de la vida se rompe, pues las aves rapaces que cazan las aves tendrían escases de su sustento.

3.2.1 Contaminantes atmosféricos originados por las centrales

Las centrales térmicas se consideran una fuente importante de emisiones de GEI a la atmósfera, estos pueden ser locales, regionales o globales. Primeramente, los efectos locales conciernen esencialmente a los producidos por la emisión de partículas, óxido nítrico y monóxido de carbono, formando así el dichoso smog; los efectos regionales en este caso se aluden a la lluvia ácida, que es ocasionada por la emisión de dióxido de azufre, y finalizando los efectos globales concierne al efecto invernadero inducido por las emisiones de CH₄ y CO₂.

"La industria química requiere una gran cantidad de energía, principalmente procedente de la combustión de productos derivados del petróleo, gas natural, del carbón o de reactores nucleares. Como resultado de estas actividades, en las centrales térmicas convencionales se encuentran los mismos tipos de contaminantes: partículas, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos".
(curso de química general Univ. de Santiago de Chile)

La cantidad de emisiones atmosféricas generada de una central varía según el ejemplar y dimensiones de la instalación, las tipologías del combustible usado y la manera en la que se genere su combustión.

Las conglomeraciones de estas emisiones y su dispersión a nivel del suelo son la consecuencia de una compleja interacción entre las cualidades de la chimenea, la calidad fisicoquímicas de los gases de escape, las condiciones meteorológicas de la zona de emisión y las circunstancias topográficas del sitio de emisión, pues la influencia de la planta genera efectos y sus alrededores.

Tabla 1. Emisiones de contaminantes de acuerdo con el combustible empleado. Fuente: DE, T. Y. P. Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene 1999.

COMBUSTIBLE	SOX	NOX	CO	CO2	VOC	PARTICULAS
CARBON	X	X	X	X	X	X
GAS NATURAL		X	X	X	X	
FUEL OIL N°2	X	X	X	X	X	
FUEL OIL N°6	X	X	X	X	X	X

3.2.1.1 Material Particulado

Conocido por su abreviación MP, este consiste en partículas sólidas o líquidas que se establece en el aire, los cuales comprende contaminantes preferentes, como el polvillo y hollín y lo referido a contaminantes complementarios, como las partículas líquidas procedentes por la densificación de vapores.

Las partículas que tienen un diámetro menores de 10 y 2,5 micrómetros se les clasifica como PM10 y PM2,5 respectivamente, estas son las más nocivas para los seres humanos, esto debido a que poseen una alta posibilidad de que entren en los pulmones.

“Las fuentes de partículas finas hechas por el hombre incluyen la quema de combustibles sólidos como la madera y el carbón, las actividades agrícolas como la fertilización y el almacenamiento de granos y la industria de la construcción.” (López López, C., & Sánchez Quitián, M. V. (2007) *pág. 31*)

3.2.1.2 Partículas totales en suspensión PTS, es el compuesto de carbón, sulfatos y nitratos, también de algunos metales como plomo, cobre, hierro y zinc.

3.2.1.3 Smog, Es altamente perjudicial para la salud, principalmente en las personas que presentan problemas o enfermedades pulmonares tales como la asma, pues es la mezcla de humo y niebla que envuelve la atmósfera.

3.2.1.4 Óxidos de Azufre SOX

Son vapores descoloridos que se forman a través de la ignición del azufre. Su fuente elemental es la quema de hidrocarburos, esto debido a que los hidrocarburos tienen como componente el azufre y en el proceso de combustión cuando estos componentes entran en contacto con el oxígeno se genera una reacción el cual da nacimiento al SO₂ (dióxido de azufre). La cuantía de azufre que es liberado en el aire es aproximadamente la misma que la cantidad de azufre que compone el combustible, esto a menudo depende de su fuente de extracción.

Los óxidos de azufre una vez liberados, aportan a gran medida la formación de lluvia ácida, siendo esta dañina para los ecosistemas tanto flora como fauna, también las fuentes de agua y materiales de construcción. Asimismo, una vez expuestos en la ambiente los óxidos de azufre pasan por procesos físicos y químicos, se convierten en una fuente de MP el cual perjudica la calidad del aire y por lo tanto la salud se ve potencialmente afectada con enfermedades respiratorias

3.2.1.5 Óxidos de Nitrógeno NOx

Son un conjunto de gases conformados por diferentes composiciones de nitrógeno y oxígeno, emitidos debido a la combustión de hidrocarburo, petróleo o de sustancias orgánicas a altas temperaturas.

Siendo la expresión NO_x (óxidos de nitrógeno) referencia a la adición de dos sustancias, primero el compuesto conocido como NO (óxido nítrico) y el segundo es el NO₂ (dióxido de nitrógeno). Durante la ignición, el nitrógeno del combustible al tener contacto con el aire este se oxida para dar resultado al NO y NO₂. Los óxidos nítricos

liberados en a la atmosfera sufren de una conversión, ya que se tienen reacciones fotoquímicas por la luz solar esto haciendo una mutación obteniendo dióxido de nitrógeno. La relación entre el aire y el combustible de forma reducida da como resultado elevadas emisiones de NOx. Dando cabida que las elevadas grados de temperatura las cuales se tienen en la parte interna de la cámara de combustión y caldera, se genera la oxidación del nitrógeno que se encuentra en el ambiente, generando óxidos de nitrógeno que se liberan por la chimenea. (López López, C., & Sánchez Quitián, M. V. (2007) *pág.* 32)

3.2.1.6 Monóxido de Carbono

Es un gas descolorido, inodoro e insípido, más pesado que el oxígeno o el aire, este surge de la combustión parcial de hidrocarburos. Se transporta con el oxígeno atmosférico y en limitadas cantidades provoca dolores de cabeza, mareos y nauseas. En consecuencia, tenemos que en grandes unidades es letal, esto debido a que priva al cuerpo del oxígeno necesario y fundamental que requieren los pulmones.

3.2.1.7 Ácido Sulfúrico H₂SO₄

Este compuesto líquido aceitoso, sin color y fuertemente corrosivo. Se crea por el escape de anhídrido sulfuroso cuando se consume el carbón, aceite y/o gasolina; Quedando suspendida en el aire para luego con las precipitaciones proveer acidez, originando un medio corrosivo que perjudica la flora y toda la vegetación.

3.2.1.8 Ácido Nítrico HNO₃

Este nace de la reacción entre las sustancia de óxido de azufre y de nitrógeno que entra en contacto con vapor de agua. No es inflamable pero la combinación con el ácido sulfúrico ayuda a la acidez de la lluvia. Este líquido tiene la peculiaridad de tener un olor sofocante.

3.2.1.9 Compuestos Orgánicos Volátiles VOC

Estos compuestos son moléculas orgánicas o hidrocarburos no quemados. Siendo estas sustancias compuestas principalmente por carbono e hidrógeno, también incluye algunos olefinas, hidrocarburos aromáticos o halogenados, Parafinas, Aldehídos, cetonas.

Que se forman en los siguientes casos: durante la ignición (a baja temperatura), formados por combustiones incompleta. Se emiten principalmente durante el uso de combustibles derivados del petróleo.

3.2.2 Contaminación del agua, alteración del ecosistema acuático

Cuando se toca el tema de la contaminación del agua, no solo es la sección en la de extracción de los materiales (combustibles), debemos notar que las termoeléctricas hacen uso de un gran volumen de agua, estas son extraídas del Mar o de otras vías fluviales, que durante la extracción puede haber arrastre o absorción de organismos acuáticos como el plancton, larvas, huevos o microalgas entre otros, que al ser llevadas al sistema de la termoeléctrica, y estar sometidos a altas temperaturas, los organismos mueren, y bien también los organismos que presentan un mayor tamaño pueden ser heridos al quedar atrapados en la redes o rejilla de las estructuras de succión.

En el proceso termoeléctrico se destaca el hecho de que aunque siempre se hace un ciclo con el agua, pero dentro los procesos se encuentra las purgas de calderas, esta se

realiza periódicamente para evadir la acumulación de impurezas que pueden perturbar la caldera, esto quiere decir que el gran volumen de agua obtenido es devuelto a un punto diferente de donde fue extraída, aclarando que esta es reintegrada a una mayor temperatura, por lo menos 10°C de la temperatura de captación, y el cuerpo de agua receptor recibe impactos debido a la temperatura, afectando las especies tanto en su cantidad como en la calidad, siendo el ecosistema afectado por la desaparición de algunas especie.

Siguiendo lo anterior también contamos con la descarga de aguas residuales, con ellas lleva una composición química diversa, y esto depende del combustible que fue utilizado. Y bien el proceso de las termoeléctricas tiene otros subprocesos que igualmente son importantes, en las cuales están:

la purga de los sistemas de desulfuración de gases de combustión (FGD), más que todo esto se realiza en centrales que trabaja con carbón o las que utilizan combustibles fósiles, con el fin de evitar la corrosión del sistema de desulfuración por gas, eliminando el dióxido de Azufre (SO₂). Generando aguas residuales con altas concentraciones de sulfato, calcio, magnesio, metales pesados, TSS, y amoniaco.

Los almacenamientos de los combustibles en especial el carbón cuando son de espacios abiertos tiene contacto con las precipitaciones, por lo cual se generan escorrentías con lixiviados que contienen sulfato ferroso y ácido sulfúrico.

Otro subproceso está en la Limpieza de equipos, ya que, en las plantas de carbón o diésel, las cenizas y hollín generados, que se esparce por la centran y en la superficie de

los equipos, los cuales deben ser recolectadas en estado húmedo, así el agua estar en contacto con sólidos y metales pesados

En este sentido se comprende que las termoeléctricas tienen una gran influencia en la contaminación del agua, y en búsqueda de la mitigación de estos daños, se tiene: en la devolución de aguas con temperaturas mayores a un cuerpo de agua, se planteó el enfriamiento de las aguas, pero no ha sido muy utilizado en el mundo, pues la normativa medioambiental no ha abordado el tema con fuerza, por lo que muy pocas centrales aplican este método; para el proceso de depuración húmeda FGD, las aguas residuales deben ser tratadas. Y así tenemos algunos planteamientos para las mitigaciones, que por costos u otros motivos muchas termoeléctricas no aplican.

3.3 Tratamientos Para los Gases generados por las termoeléctricas

La consecuencia de generación de GEI, recae sobre la quema de los combustibles principalmente del carbón, fósiles y también el gas natural, que, aunque este último no genere Partículas suspendidas, en la extracción y uso de su capacidad es lo que impide una energía limpia. Por ello se buscaron otros tipos de combustibles que como se dijo anteriormente es la central de biomasa, pues aprovecha el material orgánico, sin generar en excesivo una producción de CO₂, el contra de este es la cantidad de producción no puede igualar la demanda de energía.

En vista de varios implementos que no cumplían con el requerimiento, simplemente se investiga métodos para la tratar los contaminantes dentro la planta antes de que los gases logren alcanzar a la atmosfera.

Como se mostró anteriormente las termoeléctricas también afectan el agua, al trabar en el sistema de circulación abierto, para estos casos se propuso el sistema de enfriamiento del recurso antes de ser devuelto a la fuente hídrica. Este enfriamiento puede ser llevado a cabo de manera forzosa o al aire libre.

3.3.1 Medidas para el decrecimiento de emisiones de NOx

Para ello, optimizar el proceso de combustión, bajo contenido de álcalis, usar combustible de bajo contenido de nitrógeno, llevar una operación estable del horno, quemadores de bajo NOx, aditivos en la llama, (Hoyos Barreto, A. E., Jiménez Correa, M. M. & Ortiz Muñoz, A (2008).)

Con otras medidas esta la transformación de las emisiones, en sustancias inofensivas mediante:

1. Reducción catalítica selectiva (RCS), usa el amoníaco, vanadia y Titania, como catalizadores y reducir el NOX.
2. Reducción selectiva no catalítica (RSNC), mediante el uso del amoníaco y un control en obtener las temperaturas adecuadas, se adiciona para controlar la reducción del NOX
3. Tecnologías de oxidación, es la relación de aire/combustible, de manera controlada con las proporciones adecuada provoca la oxidación.

3.3.2 Medidas para el decrecimiento de emisiones de SOx

Para reducir la emisiones de SOX se recomienda utilizar materia prima, con contenidos bajos en azufre y mantener un ambiente oxidante. Claro está que se implementan otras medidas como: agregar cal apagada entre el horno, uso de lecho fluidizado circulante que es el uso de material crudo donde se juntan los gases.

El método más recomendado son los lavadores húmedos, que pueden estar compuesto por: cal y piedra caliza, cal-magnesio,

3.2.3 Medidas para el decrecimiento de emisiones de COx

La medida más fundamental es la destitución del carbón, para las centrales que utilizan el carbón, mejoras de eficiencia energética, remplazo de materia prima, absorción química del CO₂ con un solvente llamado monotanolamina, entre otros.

Mundialmente se han ido incorporando nuevas tecnologías, permitiendo ahorrar tiempo y eficiencias, esta tecnología se basa en la mejora de la operación de la centrales. Entre ellos esta Virtual Visit, que es una revisión general de la central a través de un dron, agilizando el proceso; machine learning, detecta anomalías y inconvenientes en su fase de inicio; IOT B; Digital Substation, mejora la atomización de las subestaciones y transformadores de potencia. (Endesa, 2020)

En busca de reducir los consumos de recursos naturales y emisiones, la tecnología interviene y plantea los siguientes proyectos:

Proyecto matching: la finalidad de este es la reducción de consumo de agua con el uso de la tecnología, actualmente hay tres empresas desarrollándolo de modo prueba

Cubic: emite ultrasonidos, con el fin de limpiar los circuitos de refrigeración, reduciendo el uso de químicos

Proyecto Gyll: también está a prueba, se basa en el uso de las membranas vibrantes para la recuperación de agua de lixiviado

Proyecto acticen: utiliza las cenizas restantes en diversos procesos para su aprovechamiento, tal como un compuesto sustituto para el cemento portland

Proyecto A4HW: para este proyecto se expone el uso de CO₂ como alimento de un cultivo de microalgas

Entre muchos otros proyectos que buscan una reducción en la huella ecológica que hacen las termoeléctricas.

3. COLOMBIA

Colombia dio inicio al servicio de energía eléctrica por iniciativa de inversionistas privados, estableciendo las inaugurales empresas a finales del siglo XIX, quienes tenían como objetivo generar, distribuir y vender electricidad. Este sistema quedó en el sistema privado, pues el uso era exclusivo a estratos más adinerados y posteriormente a talleres, fábricas. Presentándose durante la primera mitad del siglo XX un cambio de las empresas por los continuos debates y la presión política, donde el estado se convierte en el dueño de estas empresas.

A principio de los años noventa, se realizó un diagnóstico a la empresa de electricidad, mostrando consecuencias en gran medida perjudiciales en condiciones de la eficiencia administrativa, operativa y financiera. Enfrentando una quiebra financiera; Con esta perspectiva, teniendo en consideración la Constitución de 1991, se ha reconocido como principio fundamental para lograr la eficacia de este servicio público, la facultad de obtener la libre entrada de cualquier organismo interesado en la prestación de dichos servicios.

El Gobierno Nacional en 1992 reformó el MinMinas GM, disolviendo la Comisión Nacional de Energía y por consiguiente instauró tres unidades administrativas especiales:

1. la Unidad de Información Minero Energética (UIME)
2. la Comisión de Planeación Minero-Energética (UPME)
3. Comisión de Regulación de Energía (CRE) convertida en 1994 en la actual Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).

Las resoluciones iniciales tramitadas por la CREG fueron temas respecto a un Marco regulatorio adaptable para las actividades de Producción, Comunicación y Comercialización. Las resoluciones reglamentarias rigen los aspectos empresariales, comerciales, técnicos y operativos de estas actividades comerciales.

4.1 Marco Normativo

4.1.1 Gestión Ambiental

El SGA tiene como objetivo que las empresas (especialmente las generadoras de energía), integren en sus operaciones actividades y estrategias ambientales para la precaución de ocasionar contaminación y realizar el uso sostenible de los recursos naturales, yendo más allá de las exigencias de la normativa vigente. Es decir, tener en cuenta el proceso productivo, desde el suministro de insumos hasta la disposición de residuos. Para ello, se establecen políticas que tienen como objetivo sensibilizar a los comprometidos de las operaciones de las centrales y a la respectiva coordinación sobre lo fundamental de su contribución en la protección del medio ambiente. Al mismo tiempo, se tendrán en cuenta una serie de acciones y medidas propuestas, que potencialmente promuevan el desarrollo de la mencionada capacidad de gestión. Los ordenamientos de desarrollo y preparación del SGA deben diseñarse de modo que el sistema pueda implementarse con el apoyo de cualquier sistema de gestión ambiental. Los requisitos mínimos del mencionado sistema se pueden cumplir de acuerdo con estándares

internacionales como ISO-14000, Sistemas de Evaluación y Gestión Ecológica (EMAS), Responsabilidad Integral, Calidad Total, etc.

La legislación ambiental cuenta con un marco normativo que es ajustable a las metodologías de generación termoeléctrica, los cuales son: La constitución política pues en ella se encuentra el marco legal y político que reúne los puntos más primordiales sobre el empleo y conservación del ecosistema; en las legislaciones del congreso de la república, en estos se encuentra las normas básicas y políticas; el licenciamiento ambiental, este es un permiso otorgado por una entidad competente con el fin de que se realice una administración y planeación para que los efectos ambientales de cualquier obra o actividad no sean negativos; finalizamos con las normas de calidad de aire, emisiones, combustibles y ruido, encontradas dentro de una agrupación de decretos y resoluciones reglamentarias.

4.1.2 Constitución Política Nacional

Principales aspectos ambientales de la constitución	
Artículo 1	Sobre la prevalencia del interés general sobre el particular.
Artículo 8	Sobre la obligación del estado y de las personas de proteger las riquezas naturales y culturales de la nación.
Artículo 49	Sobre la obligación del estado de garantizar la salud y el saneamiento ambiental.
Artículo 58	Sobre la propiedad privada: función social y obligaciones inherentes, función ecológica.
Artículo 67	Sobre la educación, como un derecho de las personas, “Se formará al colombiano entre otros, para la protección del ambiente ...”
Artículo 79	Sobre el derecho de las personas a gozar de un ambiente sano.
Artículo 80	Sobre la protección de las riquezas del estado, la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales renovables, dentro del criterio del desarrollo sostenible.
Artículo 95	Sobre el deber de los colombianos de proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.
Artículo 215	Sobre el estado de emergencia cuando sobrevengan hechos que perturben o amenacen perturbar en forma grave e inminente, entre otros, el orden ecológico del país.

Fuente: Guía Ambiental para termoeléctricas (1999), pág. 16

4.1.2.1 Leyes del congreso de la república y decretos con fuerza de ley

Ley 23 de 1973	Mediante la cual se conceden facultades extraordinarias al presidente de la república para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente.
Ley 2811 de 1974, Código Nacional de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente	Enuncia los principios generales sobre el aprovechamiento y utilización de los recursos naturales renovables y la conservación del medio ambiente en desarrollo de actividades o proyectos de transformación de la base natural.
Ley 09 de 1979: Código Sanitario Nacional	Establece las normas generales que sirven de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona con la salud humana.
Ley 99 de 1993	Crea el Ministerio del Medio Ambiente y reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables. Organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA.

Fuente: Guía Ambiental para termoeléctricas (1999), pág. 17.

4.1.3 Licenciamiento ambiental

La licencia ambiental es un permiso expedido por una autoridad ambiental competente, con el fin de llevar a cabo un proyecto, obra o actividad susceptible de producir un daño grave al medio ambiente, por ende, en él se plantean ciertas exigencias, obligaciones y condiciones que debe cumplir el titular de la licencia con la finalidad de prevenir, reducir, corregir, compensar y gestionar los impactos ambientales de una actividad, instalación o proyecto autorizado.

Para esto se tienen cuenta las siguientes leyes, decretos y resoluciones: Ley 99 de 93, decreto 1753 de 94, decreto-ley 2150 de 95, resolución 655 de 96, ley 99/1999, ley 143/1994, decreto 1220/2005, resolución 1287/2006, Decreto 948 de 1995, Resolución 655/1996, Decreto 1697 de 1997, Resolución 0619 de 1997

El decreto 1753 de 1994, en este se están pautadas las Licencias Ambientales, donde se concretó la naturaleza, modalidades e impacto de estos permisos en los beneficiarios, también las instrucciones y pasos para realizar para su tramitación.

De acuerdo con Ley 99 de 93 Art. 57 En casos que se requieran se solicita un informe en el contenga la ubicación del proyecto y los componentes ambientales que puedan sobrellevar desgaste por la concerniente obra o actividad, así como estimaciones de posibles impactos. También encierra el bosquejo de los regímenes de prevención, mitigación, remediación y compensación de impactos; siendo documento llamado Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

Para ser complementada por la ley 99 de 1999, nombrando la regulación para la adquisición de permisos ambientales concernientes con el progreso de proyectos productivos.

La Ley eléctrica (143 de 07 de 1994), establece que el crecimiento de proyectos eléctricos nacionales debe ser considerado en el marco de criterios ambientales. En este sentido, mediante el Decreto 1220 de 21/04/2005, el MAVDT, reglamentó e instituyó el significado y alcance de una licencia ambiental, también instaure integralmente los documentos ambientales tales como el dictamen ambiental de alternativas y estudios de impacto ambiental se realicen sobre la base de las especificaciones establecidas por el MAVDT.

La Resolución 1287 de 2006, acoge los requisitos para la preparación de los análisis de impacto ambiental para la edificación y operación de centrales térmicas que produzcan energía eléctrica con una capacidad igual o superior a 100 MW.

Otro de los requisitos para la expedición del permiso ambiental son los documentos DAA y los EIA.

En el Decreto - Ley 2150/95 y Resolución 655/96, se nombran todos los documentos necesarios para la representación ambiental, tales como permisos y autorizaciones, estos son obligatorios para llevar a cabo obra o actividad, que implica la Licencia Ambiental

Para el consentimiento de las licencias ambientales, en proyectos de generación eléctrica, se tiene un especial cuidado por sus emisiones atmosféricas, por lo que también se solicita permiso para toda empresa, construcción y actividades que funcionen con calderas o hornos, donde su gasto nominal de combustible sea igual o superior a:

Tabla 2. valores limite, para el requerimiento de permiso de emisión atmosférica.

Fuente: DE, T. Y. P. Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene 1999.

a) Carbón mineral	500 kg/h
b) Bagazo de caña	3000 ton/año
c) Cualquier combustible liquido	100 gal/h

4.1.4 Normativa sobre el control de contaminación

Normativas aplicadas: Decreto 948 de 1995, Resolución 1351/1995.

La normativa relacionada con la calidad del aire y de los combustibles, y igualmente de las emisiones atmosféricas y de ruido; representando los límites permisibles, está establecida para avalar la conservación de calidad de la atmosfera, los recursos naturales y la salud del ser humano.

4.1.4.1 Ley 9 de 1979 Código Sanitario Nacional Código Sanitario

Esta ley relaciona:

- Decreto 02 1982, en el que se instituyen normas de calidad del aire, los métodos, variables y contantes para el cálculo de:
 - La contaminación presente en el aire
 - La altura mínima que requiera la chimenea
 - Normativas de emisión de partículas para las calderas trabajadas a carbón
- Resolución 08321 de 1983, que establece las normas los niveles máximos permisibles de ruido.

Y demás resoluciones que son necesarias y para tener en cuenta: Resolución 03194 de 1983, Resolución 19622 de 1985, Resolución 2308 de 1986, Resolución 898 de 1995, Resolución 1351 de 1995, Decreto 2107 de 1995, Resolución 1619 de 1995, Resolución 441 de 1997, Resolución 0619 de 1997, Decreto 1697 de 1997, Resolución 415 de 1998, Resolución 0623 de 1998.

4.1.5 Normas de emisión de contaminantes

Para esta normativa aplicable a los métodos de generación de energía como las centrales termoeléctricas se encuentran en el Decreto 02 de 82, cabe aclarar que se debe tener en cuenta algunas pautas técnicas de acuerdo con las características que se presente en el proceso de producción de energía.

Tabla 2. Discernimientos previos a la diligencia de las reglas de emisión. Fuente: DE, T. Y. P. Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene 1999.

CRITERIOS PREVIOS A LA APLICACIÓN DE LAS NORMAS DE EMISIÓN
Las normas están establecidas para una altura del punto de descarga o altura de referencia, que es aquella que se compara con la altura real del punto de descarga de una fuente fija de contaminación, para modificar la norma de emisión.
Los puntos de descarga de contaminantes al ambiente, en ningún caso podrán estar localizados a una altura inferior a quince (15) m desde el suelo, o a la señalada como mínima en cada caso, según las normas del decreto.
Las normas previstas son referidas a condiciones estándar (25°C y 760 mm Hg), por lo que, cuando la fuente esté ubicada a una altura diferente las normas se deben corregir a esta nueva altura, según procedimiento descrito en el Art. 42 y 43 del Decreto 02 de 1982.

Se establece las pautas de emisión en calderas que funcionan a carbón, tabla 4

Tabla 3. Normas de emisión de partículas para calderas. Fuente: Art 48, decreto 02 de 1982.

CONSUMO DE CALOR POR HORA millones de kcal	ZONA RURAL kg/10⁶ kcal	ZONA URBANA kg/10⁶ kcal	ALTURA DE DESCARGA m
10 o menos	3,00	2,00	15
25	2,24	1,45	20
50	1,79	1,14	25
75	1,57	0,99	30
100	1,43	0,9	40
200	1,15	0,71	45
300	1,01	0,61	50
400	0,92	0,55	55
500	0,86	0,51	60
750	0,75	0,45	100
1000	0,68	0,40	115
1500 o mas	0,60	0,35	120

Tabla 5. Factores de modificación de la norma de emisiones de fuentes fijas. Fuente: Art. 48, decreto 02 de 1982.

ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR (m)	FACTOR DE MODIFICACION (K)
500	0,969
750	0,954
1000	0,939
1250	0,923
1500	0,908
1750	0,893
2000	0,878
2250	0,862
2500	0,847

4.1.5.1 *Pautas de emisión de partículas*, está dado por el Decreto 02 del 82 donde pauta la emisión de partículas para ciertas orígenes fijos, entre las que se establecen las centrales que cuentan con el mecanismo de calderas a base de carbón.

El acatamiento de esta regla no es imperativo durante ciertos periodos tales como el de arranque de actividades, pausa y soplado de cenizas, esto siempre que cada uno de estos procesos no tenga una duración que exceda de 45 minutos cada 24 horas

Tabla 6. Normas de emisiones de partículas. Fuente: Art. 49, decreto 02 de 1982.

Máxima emisión permisible de partículas (kilos/millón de kilocalorías)	Millones de kilocalorías por hora
Zona rural : <ul style="list-style-type: none"> • E = 0,30 • E = 6,29 $P^{-0,321}$ • E = 0,6 	<ul style="list-style-type: none"> P ≤ 10 10 < P < 1500 P ≥ 1500
Zona urbana <ul style="list-style-type: none"> • E = 2,0 • E = 4,46 $P^{-0,348}$ • E = 0,35 	<ul style="list-style-type: none"> P ≤ 10 10 < P < 1500 P ≥ 1500

Donde
E = Emisión máxima permisible de partículas expresadas en millones de kilocalorías consumidas por hora.
P = Poder liberado por el combustible en millones de kilocalorías consumidas por hora.

4.1.5.2 Pautas de emisión de dióxido de azufre, El Decreto 02 de 1982 regula la emisión de dióxido de azufre de una serie de fuentes fijas, incluyendo las calderas, hornos y equipos que utilizan combustibles sólidos o líquidos tales como carbón, Fuel Oil, queroseno, Diesel Oil o petróleo crudo.

Tabla 7. Elevación mínima solicitada para la emisión de SOx en calderas de carbón.

Fuente: Art. 79, decreto 02 de 1982.

CONSUMO DE CALOR 10⁶ kcal/hora	ALTURA MINIMA REQUERIDA (m)		
10 o menos	15	15	20
11-40	20	25	30
50	20	30	35
75	30	37	50
100	35	45	65
200	40	52	72
300	45	60	80
400	52	67	95
500	60	75	110
750	85	100	130
1000	110	125	150
2000 o mas	125	150	
Contenido ponderado de azufre	1,4 o menos	1,5-2,9	3,0-6,0

Los coeficientes de corrección estándar de emisión para calderas en sitios de descarga cuya altura sea disímil a la altura de referencia, están dados en la tabla 8.

Tabla 8. Coeficientes de corrección para las emisiones de MP para calderas de carbón.

Fuente: Art. 5, decreto 02 de 1982.

CONSUMO DE CALOR 10 ⁶ de kcal/hora	ZONA RURAL kg/10 ⁶ kcal	ZONA URBANA kg/10 ⁶ kcal	ALTURA DE DESCARGA m
25	0,050	0,075	15
50	0,040	0,065	20
75	0,030	0,060	20
100	0,020	0,042	30
200	0,015	0,032	30
300	0,010	0,022	40
400	0,006	0,013	40
500	0,005	0,011	50
750	0,004	0,009	60
1000	0,003	0,007	80
1500 o mas	0,0025	0,006	100

4.1.6 Pautas Sobre Calidad De Los Combustibles

El empleo de combustibles sólidos y líquidos está sujeto a regulaciones en cuanto a su calidad, especialmente en cuanto a su contenido de azufre.

La normativa establece los patrones de dispersión admisible de contaminantes al ambiente para infraestructuras de combustión con capacidad determinada superior de 50 MW

Tabla 9. Patrones de emisiones admisibles de contaminantes al aire. Fuente: Propuesta de reglas de emisión de contaminantes a la atmósfera. MAVDT.

COMBUSTIBLE	MP (mg/m ³)	SO _x (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)
Sólido	30	50	200
Líquido	30	50	200
Gaseoso	30	50	200

4.1.7 Normas De Calidad Del Aire

Esta normativa está establecida por el Ministerio del Medio Ambiente, pautando la calidad del aire o nivel de emisión. En la necesidad de preservar en buen estado no solo

la atmosfera y el suelo si no también los recursos naturales que nos brindan, por ello se establece el nivel de concentración permisible de sustancias u actividades contaminantes.

Tabla 10. Pautas de calidad del aire. Fuente: Decreto 02 de 1982.

Sustancia Contaminante	Valores permisibles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)^a				
	Anual	24 horas	8 horas	3 horas	1 hora
Partículas en suspensión ^b	100	400	--	--	--
SO ₂ ^c	100	400	--	1500	--
CO	--	--	15000	--	50000
Oxidantes fotoquímicos (O ₃)	--	--	--	--	170
NO ₂ ^c	100	--	--	--	--

^a Valores en condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg)

^b Promedio geométrico

^c Promedio aritmético

4.2 Política Ambiental

Desde que se estableció la constitución política en 1991, Colombia ha basado su política ambiental en los principios del desarrollo sostenible y ha encomendado al gobierno y a todos los pueblos, el compromiso y deber de preservar y defender los recursos naturales del Estado. (artículos 79, 80 y 95 de la Constitución Nacional). Las medidas para defender, custodiar y restaurar el ecosistema son otorgadas como una tarea al gobierno, el sector privado, la sociedad y las ONG.

4.2.1 Políticas de producción limpia

La política Nacional Ambiental implementa el desarrollo humano sostenible en el Documento del Consejo Nacional de Política Económica y Social (COMPES) 2750 de 1994, introduciendo una producción limpia en los sectores productivos, reorientando las tendencias no sostenibles.

Esta política en el sector energético fomenta el uso de fuentes de energía más limpias como el gas, la gestión de la demanda final de energía a través del fomento del

uso eficiente y racional de la energía, promueve sistemas únicos, como briquetas y leña provenientes de bosques energéticos, regímenes de energía solar y eólica, todo esto siempre y cuando tengan una viabilidad tanto económica como ambientalmente. Se prioriza el control de las emisiones a la atmosfera y el manejo de residuos sólidos de las centrales y a reforestar los cauces que contribuyen a los proyectos hidroeléctricos. (COPMES 2750)

El sector colombiano puede aludir a acuerdos que tienden la constitución de regímenes de producción limpia en el sector eléctrico, de los cuales se puede nombrar:

Tabla 11. políticas de producción limpia. Fuente: MA, Política Nacional de PML 1997.

5 de junio de 1995	convenio marco de concertación para una PML	esta instituye los lineamientos primordiales para el desarrollo de concertación sectoriales	Se llevó a cabo con el Gobierno Nacional, a través del Ministerio del Medio Ambiente, Gremios Empresariales y el sector Publico Minero
20 de septiembre de 1995	convenio interadministrativo entre el Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Minas y Energía	Dentro de los propósitos se establece progresar en el cumplimiento de la política minero-energética de modernización y reconversión industrial y ambiental, así como ejecutar acciones efectivas para el manejo, aprovechamiento, conservación de los recursos naturales, y adoptar métodos de explotación y producción sostenibles, en pro del programa de PML	Estuvieron presentes el Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Minas y Energía
29 de octubre de 1997	convenio de concertación para una PML con el sector eléctrico	Es una alianza de voluntades para apoyar acciones concretas y precisas que lleven al progreso de la gestión pública y empresarial y al control y reducción de la contaminación	acuerdo llevado a cabo por el Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Minas y Energía, Empresas públicas y privadas del sector Eléctrico Colombiano

A través de estos convenios se adquirieron compromisos a implementar en el sector termoeléctrico, tales como reconversión en las tecnologías limpias. Por ello ECOCARBON y Unidad de Planeamiento Minero Energético (UPME), planteando cinco estrategias.

Tabla 4. cinco estrategias planteadas por el PRTL. Fuente: DE, T. Y. P. Manual Ambiental para Termoeléctricas 01 ene 1999.

1	Definir las especificaciones técnicas de los equipos y sistemas necesarios para realizar la actualización y reconversión tecnológica en cada una de las plantas del parque termoeléctrico nacional, consideradas en el universo de trabajo para la formulación preliminar del PRTL.
2	Elaborar un proyecto de reglamentación ambiental, con un enfoque que considere su carácter ecosistémico de integralidad, equidad y gradualidad, aplicable específicamente a la generación de energía termoeléctrica en el país.
3	Elaborar una propuesta de objetivos y metas de calidad ambiental en las áreas de influencia de las plantas termoeléctricas actuales y en las áreas afectables por futuros proyectos.
4	Definir las estructuras administrativas, los perfiles y la organización del recurso humano para la ejecución eficiente del PRTL y el mejoramiento de la gestión ambiental subsectorial
5	Diseñar los mecanismos e instrumentos económicos para garantizar la viabilidad y sostenibilidad económica y financiera del PRTL.

4.3 Estado del Arte

De consulta, se remarcaron varias fuentes principales, ya que los documentos aportaron en gran magnitud, de donde se determinaron los siguientes fundamentales:

Tabla 5. Relación de fuentes.

<p>Diagnóstico de las centrales termoeléctricas en Colombia y evaluación de alternativas tecnológicas para el cumplimiento de la norma de emisión de fuentes fijas. (López López, C., & Sánchez Quitián, M. V, 2007), se enfoca en el diagnóstico de emisiones en centrales térmicas en Colombia, evaluando el cumplimiento de la norma de emisiones vigente (Decreto 02 de 1982) y la propuesta sobre emisiones de contaminantes, por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), que tiene como objetivo obtener la cuantificación de los contaminantes atmosféricos propios de la industria y sugerir alternativas para cumplir con la normativa y reducir los potenciales impactos ambientales de los que se presentan en la zona de influencia de las centrales térmicas, lográndolo a la necesidad del área, las alternativas preventivas y correctivas, cumpliendo los requerimientos de la autoridad ambiental</p>
<p>Gestión de riesgo ambiental: proceso de generación de emisiones contaminantes en la termoeléctrica a base de carbón del municipio de Paipa (Niño Rodríguez, C. A, 2018).</p> <p>En esta monografía se utilizó la norma GTC 104 para evaluar a nivel cualitativo de los riesgos inherentes a las emisiones fijas provocadas por la central térmica a carbón ubicada en Paipa, Boyacá. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica para identificar, analizar y evaluar los principales riesgos asociados a los impactos ambientales de las operaciones de la planta, teniendo en cuenta los impactos económicos y sociales de esta.</p>
<p>La demanda de Energía y el planeamiento del sector Eléctrico en Colombia, Coyuntura Económica. Vol. XVIII, 187-198 (Álvaro Ruiz) Documento que resume del informe técnico sobre “Modelos para análisis y Planeamiento del Sector Energético”, por el Ministerio de Minas y Energía.</p>

4.4 Metodología

Para conocer la cantidad de contaminación de las termoeléctricas, evaluar alternativas y conocer el avance de en la gestión del cambio climático en Colombia, se realizó.

1. Recopilación de datos: en esta fase se recopilará toda la información general (nombres, ubicación, entre otros, etc.), datos técnicos (Tipo de Combustible, tecnología, cantidad de combustible, etc.) y datos ambientales (datos de emisión, eficiencia, etc.). esta información será recopilada en fuentes verídicas como Artículos, Informe, Revistas, Documentos Nacionales, y documentación de cada una de las entidades competentes como el UPME, MAVDT , DPN , CONPES, CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas), entre otros.
2. Analizar la información obtenida, conociendo el panorama general y real, para identificar los dispositivos de control, y definir algunas alternativas que favorezcan al avance de la gestión del cambio climático.

4.5 Demanda energética

En Colombia la demanda de energía a través de los años muestra un aumento continuo, tal como se evidencio en los años 1975 a 2018, hubo un incremento de consumo por 78%, siendo una indice de crecimiento aproximado anual de 1,81%.

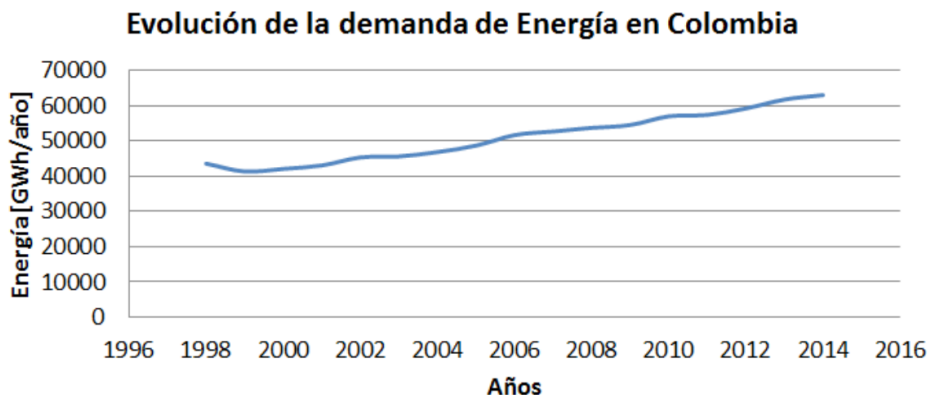


Figura 12. Evolucion de la Demanda de Energía eléctrica en Colombia. Fuente: Rev. inversión en fuentes distintas de energía renovable para la producción de energía.

La demanda de energía en Colombia en el año 2015 tuvo un cambio debido a que se vio afectada al fenómeno El Niño, pues las temperaturas hicieron la demanda de energía crecer un 4,2%, en cambio del 1,81% proyectado.

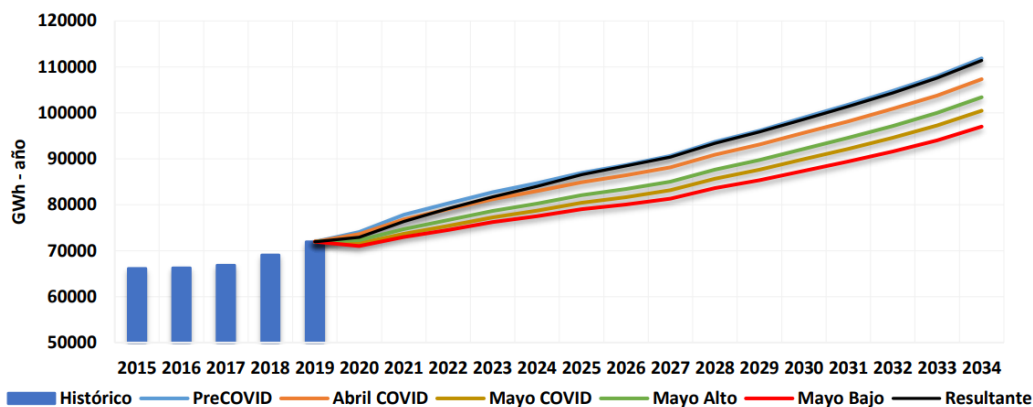


Figura 13. Proyección anual de demanda energía eléctrica (GWh-año). Fuente: Rev. Plan de expansión de referencia generación UPME

Cabe destacar que para el año 2020, la demanda de energía que era de 70.422 GWh-año, tuvo lugar a una reducción del 2%, con respecto a la demanda 71.925 GWh-año registrada del 2019. No obstante, la demanda estaba siguiendo su curso de aumentar

en los primeros meses del año 2020, llegando después una gran reducción por la situación de emergencia y las medidas de aislamiento preventivo, por ello la reducción.

Aun así, se tiene la previsión de que la demanda alcance y supere los valores obtenidos durante 2019, por lo que proyecta la demanda de energía eléctrica entre 2021 a 2035 con un crecimiento promedio entre 2,28% y 2,68 %.

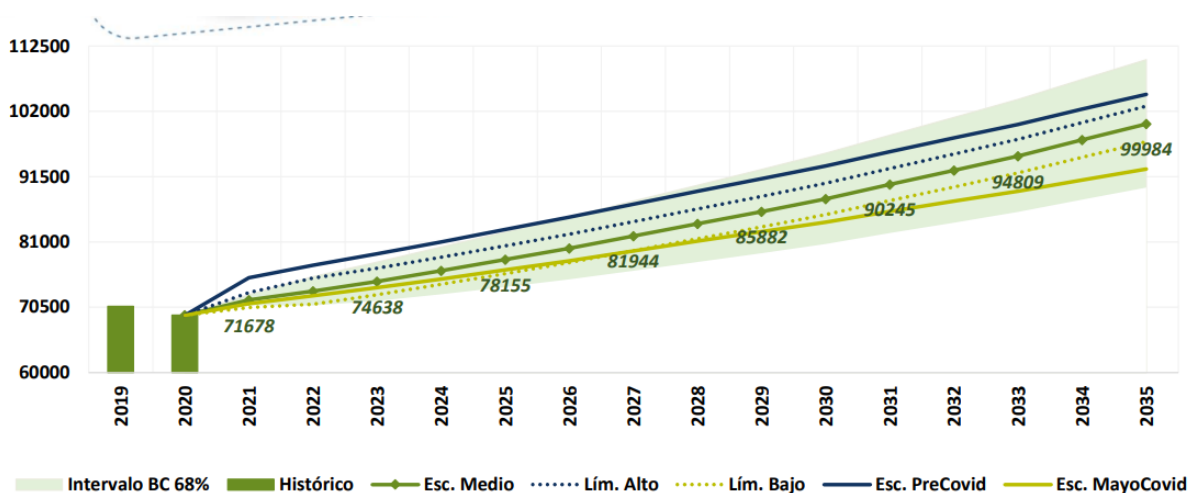


Figura 14. proyección anual de demanda energía eléctrica (GWh-año) para el SIN. Fuente: UPME,

Base de Datos (junio 17, 2021)

4.6 Eficiencia Energética

Teniendo como registro la cantidad de contaminación que generan las centrales y la demanda de energía, La constitución Nacional nombra la necesidad de una producción de energía más limpia, implementando varios métodos para llegar a esta meta, obviamente sin afectar la producción.

Por ello entre uno de los proyectos esta la eficiencia energética, en el libro de CONPES 3855, se da un amplio conocimiento de la eficiencia energética no solamente nombrando la normativa que esta conlleva, sino también el significado y proceso que se

ha llevado para el cumplimiento de algunos objetivos como un uso razonable y eficaz de la energía eléctrica.

El significado de la eficiencia energética se refiere a reducir de la cuantía de energía consumida por unidad de producto, servicio o bienestar producido; o en su defecto es desarrollar un aumento en la cantidad de producto y servicio, conservando el mismo consumo energético. En este sentido, algunas de las medidas destacadas son la sustitución de equipos ineficaces por aquellos más eficientes. La puesta en práctica de buenas actividades en su uso; adecuación arquitectónica y energías alternativas, incluyendo el uso de fuentes energéticas no convencionales (FNCE, 2009).

Siendo esto un proyecto bastante amplio, desde que el Gobierno Nacional apadrinó el Plan de Acción Indicativo 2010 - 2015 conteniendo una visión al año 2020. Este planteo metas de eficiencia energética de un 14,75% sobre el consumo de energía del 2015 a nivel nacional.

En vista de lo planteado anteriormente, y con el objetivo de mejorar los recursos energéticos del país, contribuyendo a la competencia de la economía y a la sostenibilidad del medio ambiente, se ha establecido una cadena de componentes normativos de política de desarrollo, en los cuales se encuentran los siguientes lineamientos:

1. la Ley 697 de 2016, establece principalmente el URE como una cuestión de beneficio social, público y de provecho nacional.
2. Un Programa para el uso racional y eficiente de la energía y otras fuentes no convencional (PROURE), definiendo objetivos y motivaciones para promover URE

3. la Ley 1715 de 2014, funda y establece la búsqueda de métodos o procesos para un Fondo de Energías eficientes, renovables y diferentes a la convencionalidad.

Recientemente, la UPME identificó el potencial de eficiencia energética en Colombia, con un correspondiente 10% de la demanda nacional. Este potencial podría llevar a que se tomen ciertas medidas, como cambiar los motores eléctricos, desconectar de equipos en modo “espera o suspenso”, remplazar focos ineficaces, y equipos de refrigeración y aire acondicionado ineficientes en áreas residenciales, comerciales y públicas, así como mejorar sus hábitos de uso.

Cabe notar que la ejecución de este potencial depende del desarrollo de diferentes medidas con distintos costes de inversión, explotación y gestión que, desde el punto de vista económico y social, tienen distintos plazos de ejecución.

Tabla 14. Potencial según medidas de eficiencia energética(a). Fuente. CONPES 3855 pg. 17 -UPME, 2015

Medida	Potencia de EE
Implementación de buenas prácticas	5% a 10%
Sustitución de refrigeradores domésticos	20% a 25%
Sustitución de aires acondicionados en sectores hotelero, comercial y oficial	Hasta 30% ^(b)
Adecuaciones arquitectónicas y de instalaciones eléctricas, y uso de FNCE	10% a 15%

Nota: (a) Los potenciales fueron determinados luego de la identificación de las posibles medidas y de los ejercicios de priorización llevados a cabo en los proyectos de caracterización de consumos de energía, y auditorías energéticas detalladas en usuarios tipo. (b) Avances tecnológicos registrados en 2015 reportan potenciales de eficiencia energética para este uso hasta del 40%.

4.7 Termoeléctricas de Colombia

Actualmente Colombia cuenta con 18 plantas termoeléctricas que suministran a la población en pro de sus requerimientos. Las cuales ocho están ubicadas en la costa y diez en el interior de Colombia, relacionadas así:

Tabla 6. Termoeléctricas de Colombia y su ubicación.

PLANTA	UBICACION
INTERIOR Y ZONA AISLADA	
Merielectrica	Barrancabermeja, Santander
Termocentro	corregimiento Puerto Olaya del municipio de Cimitarra en el departamento de Santander
Termodorada	Dorada, Caldas Medellín, Antioquia
Termoemocali	Palmira, Valle del Cauca
Termopaipa	el Kilómetro 3 vía Paipa – Tunja, Municipio de Paipa, Boyacá
Termosierra	Puerto Nare, departamento de Antioquia
Termo tasajero	San Cayetano, Norte de Santander.
Termo valle	Zona Franca del Pacífico, Municipio de Palmira, Valle del Cauca.
Termozipa	Tocancipá, Cundinamarca
Termo Yopal	Yopal, Casanare.
COSTA	
Gecela	Puerto Libertador, Córdoba
Proelectrica	Cartagena, Bolívar
Termo candelaria	Mamonal, Cartagena
Termo Cartagena	Cartagena, Bolívar
Termoflores	Barranquilla, Atlántico
Termoguajira	Dibulla, La Guajira
Termonorte	Santa Marta, Magdalena
Termobarranquilla	Soledad, Atlántico

“La generación de energía que se da por medio de las centrales termoeléctricas tiene un gran aporte a la contaminación atmosférica del país” CONPES, (2005).

Ubicándose como el tercer sector que genera más contaminante en Colombia, pero tiene una producción del 32% de la energía total solicitada por la Nación.

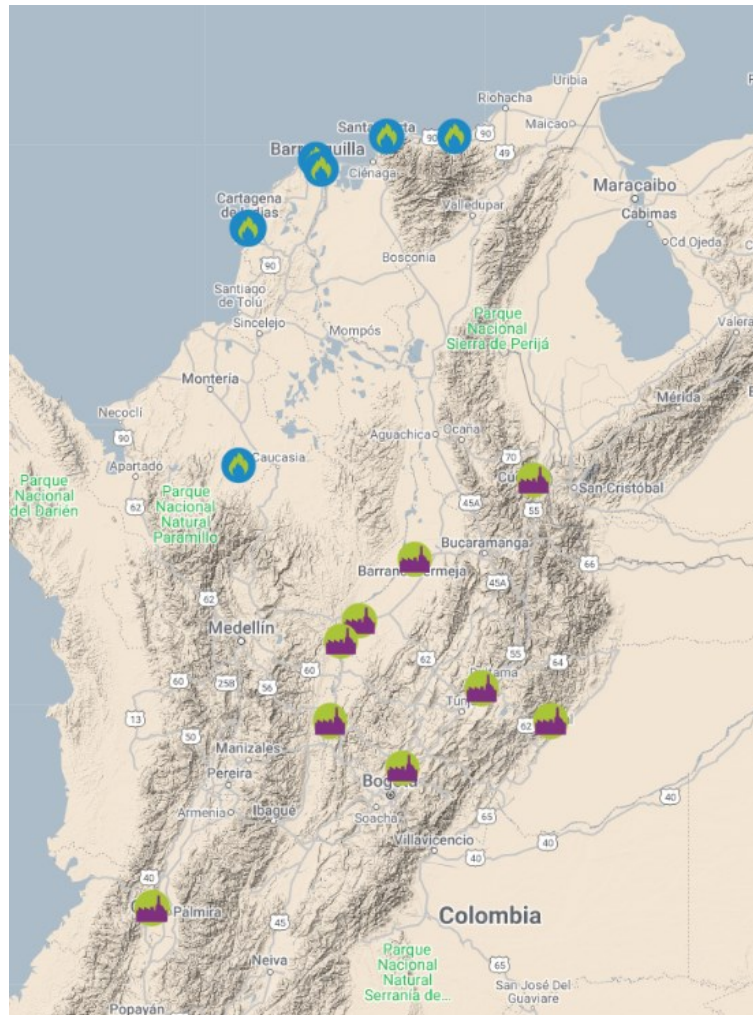


Figura 15. Mapa de la ubicación de las termoeléctricas de Colombia. Fuente: Web Concentra, *inteligencia en energía*

Las metodologías o procesos para la producción de energía eléctrica, a través de centrales térmicas, más empleadas en Colombia son: las Turbinas a vapor en ciclo Rankine, Turbinas a gas, en ciclo simple y en ciclo Stig y ciclo combinando, con combustibles de gas natural, carbón mineral (Figura 17) y en eventuales casos con fuel oíl y/o ACPM, en las siguientes tablas con información obtenida de UPME se darán los datos de la tecnología que utilizan y la capacidad de las plantas termoeléctricas.

Figura 16. Diagrama de proceso simplificado de una planta carboeléctrica. Fuente: UPME, Guía

Ambiental Proyectos carboeléctricos

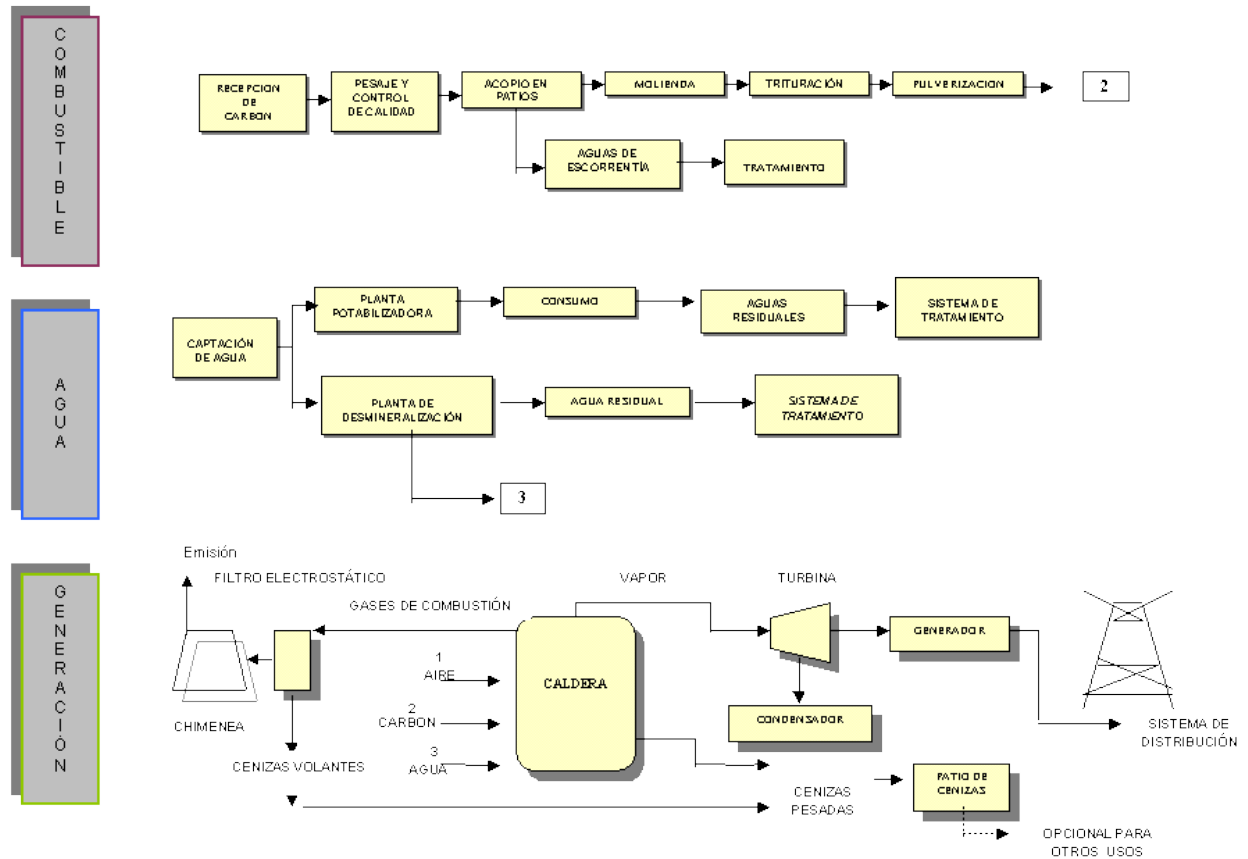


Tabla 7. Características de plantas térmicas en operación con Carbón.

PLANTAS A CARBÓN			
PLANTA	UNIDADES	TECNOLOGIA	CAPACIDAD MW
Termozipa	2	CP	36
	3	CP	63
	4	CP	64
	5	CP	63
Gecela	3	LF	164
	3,2	LF	273
Termoguajira	1	GN+CP	145
	2	GN+CP	145
Termo tasajero	1	CP	165
	2	CP	179
Termo paipa	4	CP	160

CP: Carbón Pulverizado, LF: Lecho Fluidizado, GN: gas natural

Tabla 8. Características de plantas térmicas a gas.

PLANTAS A GAS NATURAL			
PLANTA	UNIDADES	TECNOLOGIA	CAPACIDAD MW
Termo flores	4	ciclo combinado	450
Merielectrica	1	ciclo simple	167
Proelectrica	1	Ciclo stig	45
Termo candelaria	1	ciclo simple	157
	2	ciclo simple	157
Termocentro	1	ciclo combinado desde el 2000	272
Termobarranquilla	Tebsa B	ciclo combinado	791
	3	Convencional Vapor	60
	4	Convencional Vapor	60
Termo Yopal	2	ciclo simple	28
	3	ciclo simple	50

Tabla 9. Características de plantas térmicas con derivados de petróleo.

PLANTAS CON DERIVADOS DE PETROLEO			
PLANTA	UNIDADES	TECNOLOGIA	CAPACIDAD MW
Termoflores	1	ciclo combinado	160
Termoemocali	1	ciclo combinado	231
Termosierra	B	Ciclo combinado	353
Termo valle	1	Ciclo combinado	241
Termo Cartagena	1	Convencional Vapor	52
	2	Convencional Vapor	62
	3	Convencional Vapor	66
Termonorte	1	ciclo combinado	88

Actualmente muchas de las plantas han cambiado el tipo de combustible con el que trata o en otros casos también se ha modificado la tecnología con la que trabajan, tal como Termocentro.

Para conocer la cantidad de contaminación de una planta, se deben conocer más datos, aparte de la tecnología con la que trabajan o la calidad de esta, pues se necesita: la eficiencia de esta que está ligada al tipo de tecnología, el año de inicio y la cantidad de

veces de arranque; y el consumo de combustible de cada unidad térmica, este valor puede oscilar pues depende del poder calorífico del combustible.

Para cada planta contamos con los últimos datos registrados del año 2021, siendo la capacidad efectiva neta, Energía firme (ENFICC), Obligaciones de Energía Firme (OEF), generación real y consumo de combustibles, del año 2021

En una planta térmica se puede calcular el ENFICC, manejando la capacidad de generación de la planta, la cantidad disponible del combustible, la cantidad de tiempo trabajado en un año en unidades de horas, y un índice que incorpora las limitaciones a la generación máxima de la planta.

La OEF es un componente esencial, y como lo revela su nombre es el enlace de los generadores respaldo por activos de generación capaces de producir energía firme durante condiciones críticas de abastecimiento.

Tabla 18. Datos de plantas de carbón 2021. Fuente. CONCENTRA

NOMBRE	UNIDAD	Capacidad Efectiva Neta noviembre 2021 (MW)	ENFICC Dic 2020 - Nov 2021 (GWh-día)	OEF Dic 2020 - Nov 2021 (GWh-día)	Generación noviembre 2021 (GWh-día)	Consumo Carbón noviembre 2021 (MBTUD)	AGENTE
TERMOPAIPA	PAIPA 1	36	0,45	0,43	0,09	1210	GENSA S.A. ESP
	PAIPA 2	72	1,58	1,53	-		
	PAIPA 3	70	1,58	1,54	0,07	823	
	PAIPA 4	160	3,53	3,42			
TERMOTASAJERO	TASAJERO 1	165	3,7	3,58	0,06	593	TERMOTASAJERO S.A. ESP
	TASAJERO 2	179	3,65	3,65	-	-	
TERMOZIPA	ZIPAEMG 2	36	0.71	0.69	0.04	595	EMGESA S.A. ESP
	ZIPAEMG 3	63	1.09	1.06	-	-	
	ZIPAEMG 4	64	1.16	1.13	0.02	308	
	ZIPAEMG 5	63	1.34	1.30	-	-	
TERMOGUAJIRA	GUAJIRA 1	145	2.96	2.87	0.12	1,344	GECELCA S.A. ESP
	GUAJIRA 2	145	2.26	2.19	2.29	14,528	
GECELA	GECELCA3	164	3.35	3.35	3.43	15,859	GECELCA S.A. ESP
	GECELCA32	273	5.40	5.40	-	23,107	

Tabla 10. Datos de plantas a gas Natural 2021. Fuente. CONCENTRA

NOMBRE	UNIDAD	Capacidad Efectiva Neta noviembre 2021 (MW)	ENFICC Dic 2020 - Nov 2021 (GWh-día)	OEF Dic 2020 - Nov 2021 (GWh-día)	Generación noviembre 2021 (GWh-día)	Consumo Gas natural noviembre 2021 (MBTUD)	AGENTE
MERIELECTRICA	merielectrical	167	3,85	3,73	0,06	815	CELSIA S.A ESP
TERMOCENTRO	Termocentro CC	272	3,16	3,06	0,04	452	ISAGEN S.A. ESP
TERMOYOPAL	TERMOYOPAL 1	8	-	-	-	-	TERMOYOPAL S.A. ESP
	TERMOYOPAL 2	28	0.64	0.62	-	-	
	TERMOYOPAL G3	50	-	-	1.14	11,476	
	TERMOYOPAL G4	50	-	-	1.15	11,313	
	EL MORRO 1	19.9	-	-	-	-	
	EL MORRO 2	19.9	-	-	-	-	
	CIMARRÓN	19.9	-	-	-	-	
PROELECTRICA	PROELECTRICA 1	45	1.94	1.88	0.25	2,309	PROELÉCTRICA Y CIA S.C.A. ESP

Tabla 11. Datos de plantas a gas Natural y Gas Natural Licuado 2021. Fuente. CONCENTRA

NOMBRE	UNIDAD	Capacidad Efectiva Neta noviembre 2021 (MW)	ENFICC Dic 2020 - Nov 2021 (GWh-día)	OEF Dic 2020 - Nov 2021 (GWh-día)	Generación noviembre 2021 (GWh-día)	Consumo Gas natural noviembre 2021 (MBTUD)	Consumo LNG noviembre 2021 (MBTUD)	AGENTE
TERMO CALENDARIA	TERMO CANDELARIA 1	157	3.63	3.63	0.33	3,963	733	TERMOCANDELARIA S.C.A. ESP
	TERMO CANDELARIA 2	157	3.41	3.41	0.21	2,961	-	
TERMOFLORES	FLORES 1	160	3.52	3.52	1.03	9,287	-	CELSIA S.A. ESP
	FLORES 4	450	10.26	10.26	-	-	-	
TERMO BARRANQUILLA	TEBSA	791	17.50	17.50	10.95	99,665	33	TEBSA S.A. E.S.P.
	TERMO BARRANQUILLA 3	60	1.11	1.11	0.05	830	-	
	TERMO BARRANQUILLA 4	60	1.14	1.14	0.03	405	-	

Tabla 12. Datos de plantas trabaja con derivados del petróleo 2021. Fuente.

CONCENTRA

NOMBRE	UNIDAD	Capacidad Efectiva Neta noviembre 2021 (MW)	ENFIC C Dic 2020 - Nov 2021 (GWh-día)	OEF Dic 2020 - Nov 2021 (GWh-día)	Generación noviembre 2021 (GWh-día)	Consumo Gas natural noviembre 2021 (MBTU D)	Consumo Líquidos noviembre 2021 (MBTU D)	AGENTE
TERMODORADA	TERMODORADA 1	44	0.71	0.69	0.006	23	177	EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN
TERMOEMCALI	TERMOEMCALI 1	231	4,8	4,66	-	-	-	TERMOEMCALI S.A. ESP
TERMOSIERRA	TERMOSIERRA B	353	7,69	7,46	3,17	36036	-	EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN
TERMOVALLE	TERMOVALLE 1	241	4,53	4,4	-	-	-	TERMOVALLE S.A. ESP
TERMO CARTAGENA	TERMOCARTAGENA 1	52	0.72	0.70	-	-	-	EMGESA S.A. ESP
	TERMOCARTAGENA 2	62	1.06	1.03	-	-	-	
	TERMOCARTAGENA 3	66	1.15	1.12	-	-	-	
TERMONORTE	TERMONORTE	88	1.70	1.70	0.99	9,125	225	TERMONORTE S.A. ESP

Según UPME la eficiencia de las centrales a carbón fluctúa entre 33% y 25%.

Las termoeléctricas que trabajan con carbón consumen entre los 800 y 1200 miles de toneladas anuales de carbón, las que trabajan con gas consumen anualmente de 180 a 230 millones de pies cúbicos. El consumo varía según el poder calorífico.

4.7.1 Estudio de emisiones y Contaminación de las termoeléctricas.

Según el decreto 1697 de 1997, las termoeléctricas no dan reporte de los datos de emisión de esta, ya que se consideran exentas al obtener el permiso de emisión. Por lo tanto, el estudio queda limitado a ciertas plantas con datos de diferentes años ya que la mayoría de estas plantas no opera de manera continua, algunos de estos valores están

recopilados y basados en ciertos reportes por autoridades ambientales competentes, y otros están bajo la estimación.

Hay ciertas excepciones de algunas plantas, de vez en cuando presente un informe formato -ICA-, pero estos presentan falencias que imposibilitan verificación de los datos.

4.7.1.1 Centrales a carbón

La eficiencia de una planta varía según el año de inauguración y inicio de funcionamiento, el tipo de combustible y de la región, se tiene que la eficiencia de las termoeléctricas de carbón oscila entre 22% y 25%. Esta eficiencia tiene un gran impacto sobre la emisión de partículas.

Las emisiones de Sox están ligadas con la cantidad y propiedades del tipo de combustible en cuestión, también a la altura de la chimenea.

Para los óxidos de nitrógeno (NOx), los datos obtenidos tienen el fallo de no contar con la información de termo paipa 3, pues los datos no fueron dados por la CARs.

Tabla 13. Emisión de contaminantes centrales de carbón. Fuente. Valoración de las centrales termoeléctricas en Colombia

UNIDAD	MP kg/h	SOx Kg/h	NOx Kg/h
PAIPA 1	50,87	736,94	183,22
PAIPA 2	186,55	1214,76	223,99
PAIPA 3	215,45	995,91	NR
PAIPA 4	22,74	2177,49	452,27
ZIPA 2	71,32	647,74	60,48
ZIPA 3	135,74	798,36	113,78
ZIPA 4	25,57	576,81	78,85
ZIPA 5	130,21	855,63	125,82
TASAJERO	NR	NR	NR

De los valores dados, nos damos cuenta de que para el óxido de azufre de la central Paipa 4, genera una mayor contaminación, y esto es debido al tipo de combustible utilizado, pues este contiene 1,23% de azufre.

Tanto para óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno, las regulaciones de estos son pobre, por lo que las termoeléctricas no consideran el evitar estas emisiones.

4.7.1.2 Centrales a gas

Gran parte de las centrales usan turbinas a gas, ya que son de menor coste y menor es el tiempo de instalación, también cuentan con eficiencias mayores pues las turbinas de gas con tecnología de ciclo simple tienen una eficiencia entre 27% a 35%; las turbinas con tecnología de ciclo combinado, cuenta con eficiencia de 47% y 51%; y cuando las turbinas son ciclo stig, la eficiencia es aproximadamente de 42%.

Como se dijo anteriormente, las centrales no están obligadas a reportar los valores de emisiones, por lo cual la mayoría de los datos suministrados para Material Particulado es escasa, como se puede identificar en la tabla 22 en los valores reportados.

Tabla 23. Valores de emisión de centrales de gas en 2007. Fuente. Valoración de las centrales termoeléctricas en Colombia

UNIDAD TÉRMICA	VALOR REPORTADO (mg/m ³)			VALOR ESTIMADO (mg/m ³)			VALOR ESTIMADO (kg/MW)		
	MP	SOX	NOX	MP	SOX	NOX	MP	SOX	NOX
TERMODORADA	ND	ND	ND	0,66	0,08	36,85	0,03295	0,00395	1,84509
BARRANQUILLA 3	ND	ND	ND	1,84	0,22	36,84	0,03288	0,00395	1,84152
BARRANQUILLA 4	ND	ND	ND	1,86	0,22	37,19	0,02985	0,00358	1,67177
GUAJIRA 1	ND	ND	ND	2,13	0,26	119,06	0,02887	0,00346	1,61676
GUAJIRA 2	ND	ND	ND	2,10	0,25	117,84	0,02702	0,00324	0,54035
TEBSA	ND	ND	100,72	11,29	1,35	171,58	0,02702	0,00324	1,51297
SIERRA	7,90	8,85	84,12	4,06	0,49	81,22	0,02684	0,00322	1,50284
VALLE	6,36	ND	16,20	1,65	0,20	32,90	0,02618	0,00314	1,46614
PALENQUE	ND	ND	ND	0,27	0,03	15,38	0,02344	0,00281	1,31243
FLORES 1	ND	0,51	72,34	2,42	0,29	48,35	0,02240	0,00269	0,44809
FLORES 2	ND	0,35	171,25	1,61	0,19	90,25	0,02228	0,00267	1,24748
FLORES 3	ND	0,50	182,51	1,95	0,23	109,19	0,02219	0,00266	0,44387
EMCALI	ND	ND	ND	1,54	0,19	30,87	0,02205	0,00265	1,23478
CENTRO	ND	ND	71,06	1,93	0,23	38,69	0,02190	0,00263	0,43791
MERILECTRICA	ND	ND	ND	2,21	0,26	44,14	0,02179	0,00262	1,22039
PROELECTRICA 1	ND	ND	ND	0,99	0,12	55,51	0,02169	0,00260	1,21492
PROELECTRICA 2	ND	ND	ND	1,00	0,12	55,80	0,02163	0,00260	1,21127
CANDELARIA 1	0,37	0,98	24,47	2,03	0,24	113,77	0,01856	0,00223	1,03941
CANDELARIA 2	0,43	0,90	29,46	2,19	0,26	122,91	0,01847	0,00222	1,03407
CARTAGENA 1	ND	ND	ND	1,10	0,13	61,85	0,01667	0,00200	0,25335
CARTAGENA 2	ND	ND	ND	0,89	0,11	49,86	0,01610	0,00193	0,32208
CARTAGENA 3	ND	ND	ND	1,06	0,13	59,47	0,01529	0,00183	0,30580
YOPAL 1	ND	ND	ND	0,39	0,05	22,01	0,01471	0,00177	0,29418
YOPAL 2	ND	ND	ND	0,52	0,06	28,93	0,01449	0,00174	0,28972

Nótese que en la tabla 22 se tiene una serie de datos No Dados, por lo cual se tiene una estimación de los valores de los contaminantes en emisión.

Debido al tipo de combustibles es común encontrar que las emisiones generadas por estas centrales de gas son menores a la emisión de partículas de una central de Carbón. De la tabla anterior, con los pocos datos suministrados nos damos cuenta que las termoeléctricas a gas tienen una baja emisión de óxidos de azufre.

La termoeléctricas de gas, tienen una baja emisión en partículas y SO_x, pero para el caso de Óxidos de Nitrógeno (NO_x), se emiten en una mayor cantidad.

3.7.2 Evaluación Del Cumplimiento De Las Normas

Obtenido los datos, estos se comparan con la normativa vigente de Colombia de emisión de partículas (decreto 02 de 1982).

El cálculo de la emisión de partículas se basa en el consumo calorífico (Kilocalorías por hora), y de la ubicación de la termoeléctrica, teniendo en cuenta que los valores propuestos en la norma corresponden a fuentes a nivel de mar, por ello en el Art. 43 se da un factor (k) “tabla 5” el cual este debe multiplicar a las emisiones obtenidas anteriormente.

Debido a que Colombia no cuenta con una norma para las emisiones de óxidos de Nitrógeno, se muestra la normativa del Banco Mundial, serán comparados con la Guía del banco mundial, en esta guía estipula los valores máximos permitidos de emisión. Tabla 9.

Tabla 14. Comparación de los Valores obtenidos y la Guía del Banco Mundial (mg/m³).

Fuente. Valoración de las centrales termoeléctricas en Colombia

UNIDAD TERMICA	Emisiones Reportadas			Guía del Banco		
	MP	SO _x	NO _x	MP	SO _x	NO _x
PAIPA 1	204,64	1385,73	444,71	X	✓	✓
PAIPA 2	951,40	4041,01	1296,86	X	X	X
PAIPA 3	1403,77	4384,05	1125,56	X	X	X
PAIPA 4	30,81	1669,13	357,11	X	✓	✓
ZIPA 2	298,21	1492,96	882,57	X	✓	x
ZIPA 3	217,24	950,13	561,67	X	✓	✓
ZIPA 4	38,17	879,47	201,25	X	✓	✓
ZIPA 5	216,37	949,83	217,83	X	✓	✓
TASAJERO	30,95	933,46	289,00	x	✓	✓

Observando la tabla anterior, podemos decir que ninguna de las termoeléctricas a carbón cumple con la normativa del Banco Mundial, dando una total evidencia de que el material particulado se excede en la emisión de todas las termoeléctricas de carbón, mientras que las emisiones de óxido de azufre (SO_x) solo dos termoeléctricas no cumplen con las normas, y las emisiones de NO_x, tiene tres centrales que no cumplen.

Adicional a esto el 2010 el MAVDT, proyecto un reglamento para el control y vigilancia de la contaminación del entorno para las fuentes fijas.

ACTIVIDAD	CONTAMINANTE	MÉTODO DE MONITOREO	TIEMPO MÍNIMO, VOLUMEN MÍNIMO Y CONSIDERACIONES PARA LA TOMA DE MUESTRA*
Termoeléctricas	MP, SO ₂ , NO _x	Referencia: 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 Alternativos: 3A, 3B, 6C, 7A, 7C, 7D, 7E y 17	Tiempo de medición: 60 minutos Volumen de muestra: 0,85 dscm (30 dscf) Caudal: Método 7C - entre 0,014 y 0,018 cfm

Figura 17. Matriz de Análisis de Contaminantes Fuente: MAVDT reglamento para el control de la contaminación del ambiente 2010

El documento Protocolo Para El Control Y Vigilancia De La Contaminación Atmosférica Para Las Fuentes Fijas, establece un límite en (30 mg/m³) para el material particulado, un límite en (50 mg/m³) para los óxidos de azufre y un límite de (200 mg/m³) para los óxidos de nitrógeno

Viendo las condiciones propuestas se logra identificar que ninguna de las termoeléctricas de carbón cumplirá con los valores.

Tabla 15. Comparación del registro para la inspección y vigilancia de la contaminación atmosférica para las fuentes fijas (mg/m³). Fuente. Valoración de las centrales termoeléctricas en Colombia

UNIDAD TERMICA	Emisiones Reportadas			Guía del Banco		
	MP	SOx	NOx	MP	SOx	NOx
PAIPA 1	204,64	1385,73	444,71	X	X	X
PAIPA 2	951,40	4041,01	1296,86	X	X	X
PAIPA 3	1403,77	4384,05	1125,56	X	X	X
PAIPA 4	30,81	1669,13	357,11	X	X	X
ZIPA 2	298,21	1492,96	882,57	X	X	X
ZIPA 3	217,24	950,13	561,67	X	X	X
ZIPA 4	38,17	879,47	201,25	X	X	X
ZIPA 5	216,37	949,83	217,83	X	X	X
TASAJERO	30,95	933,46	289,00	x	x	x

Como vimos anteriormente los datos de emisión de gases para la termoeléctrica de Gas, no contenía los datos totales, por ello se tomaron los valores calculados y con ellos se rellenó los espacios faltantes. Ya con los datos se comparan con la normativa del Guía del Banco y con el propuesto de MAVDT

Tabla 16. Comparación de los valores obtenidos, Guía del Banco Mundial y protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica para las fuentes fijas (mg/m³). Fuente. Valoración de las centrales termoeléctricas en Colombia

UNIDAD TERMICA	Emisiones Reportadas			Guía del Banco			MAVDT (2010)		
	MP	SOx	NOx	MP	SOx	NOx	MP	SOx	NOx
TERMODORADA	0,66	0,08	36,85	✓	✓	✓	✓	✓	✓
BARRANQUILLA 3	1,84	0,22	36,84	✓	✓	✓	✓	✓	✓
BARRANQUILLA 4	1,86	0,22	37,19	✓	✓	✓	✓	✓	✓
GUAJIRA 1	2,13	0,26	119,19	✓	✓	✓	✓	✓	✓
GUAJIRA 2	2,10	0,25	117,84	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TEBSA	11,29	1,35	100,72	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SIERRA	7,90	6,85	64,12	✓	✓	✓	✓	✓	✓
VALLE	6,36	0,20	16,20	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PALENQUE	0,27	0,03	15,38	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FLORES 1	2,42	0,51	72,34	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FLORES 2	1,61	0,35	171,25	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FLORES 3	1,95	0,50	182,51	✓	✓	✓	✓	✓	✓

EMCALI	1,54	0,19	30,87	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CENTRO	1,93	0,23	71,06	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MERIELECTRICA	2,21	0,26	44,14	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PROELECTRICA 1	0,99	0,12	55,51	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PROELECTRICA 2	1,00	0,12	55,80	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CANDELARIA 1	0,37	0,98	24,47	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CANDELARIA 2	0,43	0,90	29,46	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CARTAGENA 1	1,10	0,13	61,85	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CARTAGENA 2	0,89	0,11	49,86	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CARTAGENA 3	1,06	0,13	59,47	✓	✓	✓	✓	✓	✓
YOPAL 1	0,39	0,05	22,01	✓	✓	✓	✓	✓	✓
YOPAL 2	0,52	0,06	28,93	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Para estos casos, evidenciamos que para cada contaminante, las termoelctricas de gas cumplen con la normativa. tener en cuenta como se dijo anteriormente, las termoelectricas reducen en gran cantidad de Material Particulado y óxido de azufre (SOx), pero si emite gran cantidad de el oxido de Nitrogeno (NOx), por ello en las centrales de FLORES 2 Y FLORES 3 los valores estuvieron cercano al limite de la normativa.

4.7.3 Alternativas de obtención de Energía asequible y no contaminante.

Las entidades competentes, han formulado varios planes para la mitigación de contaminación por parte de la generación de energía y obtener a lo que llaman energía limpia.

Las propuestas varían de cambios de combustible, a cambiar las maquinarias de la instalación con mejoras tecnológicas. El problema con estas es que debe cumplir con la oferta energética (eléctrica e hidrocarburos), de demanda (proyecciones, perspectivas y eficiencia), cobertura y que no tenga pérdidas económicas.

Entre las propuestas se tienen:

4.7.3.1 Mejoramiento De La Calidad Del Combustible

El EPA y la UE, proponen una mejora en la calidad de los combustibles para alcanzar calidad del aire. Ya que, en el carbón, está presente el azufre y de él, cenizas emergen al ser quemado para convertirse en material particulado.

Una alternativa sugerida era realizar una mezcla de carbón, con otras áreas cercanas que tuvieran porcentajes de azufre y ceniza más bajos, obviamente sin reducir el poder calorífico.

En 2005 el UPME, realizo un análisis de la industria del carbón, con esta información se prepararon mezclas de carbón, cuidando de que el poder calorífico estuviera próximo al del carbón, y la cantidad de ceniza y azufre, para asegurar la reducción de emisiones.

4.7.3.2 Equipos De Control Para Las Emisiones Atmosféricas.

Un método bastante sonado es la implementación de dispositivos de control, estos se encargan de se encargan de evitar que los contaminantes lleguen a la atmosfera, sin dejarlos escapar.

Equipo De Control Para El Material Particulado, Esta maquinaria, cuentan con un precipitador electrostático EPS, siendo el material particulado el único material que está siendo tratado, la desventaja de dispositivos es que no alcanzan a cumplir con la norma de emisión propuesta.

Equipo De Control Para Los Óxidos De Azufre, El control de los óxidos de azufre se realizan después de la combustión, mediante la desulfuración gaseosa, teniendo dos

subprocesos: el regenerativo tiene un agente de remoción, el no regenerativo es el que se desecha, húmedos y secos variando en la remoción del activo

En Colombia se requiere una alta eficiencia de reducción de óxidos de azufre en las centrales térmicas para cumplir con la norma, por ello se opta por instalar una torre de absorción, estas absorben los gases ácidos y con la solución los depura. Estas torres alcanzan una eficiencia de eliminación hasta el 99% y requiere de un consumo de agua bajo

4.7.4 Avance en la gestión del cambio climático

Según el Desarrollo sostenible, delega a Colombia una meta de Energía Asequible y no Contaminante, lo cual ha sido todo un reto, por ello se tienen varias propuestas, comenzando con:

En 1995 se propuso mejoramiento de la calidad de los combustibles, para el 2017 según DNP se logró alcanzar reducción en el contenido de azufre en el diésel, la gasolina, y el carbón, pero se presenta un problema con la sección automotriz, pues tal solución afectaba el transporte, por lo que su implementación es solo llevada a la sección industrial.

En 2019, el Ministerio de Minas y Energía realizaron un conteo de las emisiones visualizándose aproximadamente entre 32 a 34 millones de toneladas de CO₂, designados así: 49% en el proceso de extracción, transporte y almacenamiento de Hidrocarburos, 32% generación de energía, 12% asociado con la extracción de carbón, 5% en producción de coque y 1% a generación de energía en los municipios, corregimiento etc.

Los indicadores están fuertemente influenciados por la producción térmica y el subsector de petróleo y gas, este último con la mayor participación de emisiones desde 2010. La serie histórica muestra un aumento de emisiones de aproximadamente 27 millones de toneladas de CO2 equivalente en 2011, a aproximadamente 35 millones de toneladas de CO2 equivalente en 2015, con un aumento promedio de aproximado 2 millones de toneladas de CO2 equivalente por año. Sin embargo, de 2016 a 2017, las emisiones cayeron significativamente a aproximado 29 millones de toneladas CO2 equivalente, principalmente debido a la producción en hidroeléctricas; desde el 2017, las emisiones de GEI se han aumentado a un ritmo de aproximadamente 2.5 millones de toneladas CO2 equivalente al año hasta llegar a emisiones de aproximadamente 34 en 2019, con este crecimiento de emisiones ajustando principalmente por la producción de electricidad.

Según REN21, se ha logrado un progreso en la implementación de energías más limpias, ya que para el 2014 el porcentaje de la energía generada y consumida procedente de fuentes fósiles era del 81%, y para el año 2019 la energía procedente de fuentes fósiles era del 77%. Y así con una diferencia de cinco años se tuvo una disminución del 4% de uso de combustibles fósiles.

Según Documento Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia, el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Sectorial (PIGCC), tenemos los siguientes avances:

4.7.4.1 Componente de mitigación: Esta sección se basa en promover la reducción de emisiones de GEI (Gases Efecto Invernadero).

- Eficiencia energética: se examinaron los consumos energético requeridos para la operación de ocho plantas térmicas, estimando su potencia promedio, con mantenimiento de 3,6% para Turbinas Rankine y 2,7% para Ciclo combinado, con esos valores, se estima un ahorro al año de 2.604.648 MBTU y una posible disminución de emisiones de CO2 aproximadamente de 209.742 toneladas al año
- Gestión activa de la demanda: estudiando la demanda de la energía, tipificando los consumos por área, y focalizando los programas se calcula una reducción de 2.087.303 toneladas de CO2, para el 2030.
- Generación de energía: desde 2019, se ha medido el alcance de la emisión, identificando la huella de carbono de 191 toneladas. Estas fueron compensadas con la obtención de certificados de carbono en el Vichada con un proyecto forestal, para el 2020 la huella llegó a 250 toneladas, también compensadas con otro proyecto forestal.

4.7.4.2 Componente de adaptación, enlaza el riesgo climático en las decisiones del sector minero energético

- Planificación de corto y largo plazo: a lo largo del tiempo, se han encontrado hallazgos y visiones de resiliencia al cambio climático, reflejándose en documentos de planificación para el sector de energía.
- Gestión de entorno: en el beneficio del ecosistema, en 2018 y 2019, en la Paz de Ariporo, se tomaron medidas de conservación de reserva natural.

- Información para la adaptación: se estudia los riesgos climáticos del sector de energía eléctrica, minera e hidrocarburos. Resultando en contar con un sistema de alertas tempranas para el subsector de energía eléctrica con fuentes hídricas.

A pesar de querer mejorar o ayudar con respecto a las termoeléctricas, el proceso es algo lento, las regulaciones siguen sin aplicarse a la perfección. Presentándose muchas falencias tales como: la inexistente obligación de reportar las emisiones de las termoeléctricas y también a que actualmente no existe regulación alguna sobre las emisión de SO_x y NO_x, y las centrales termoeléctricas no tiene en cuenta la necesidad de impedir este tipo de contaminantes.

4. Conclusiones

Con la corta historia de la energía eléctrica en Colombia, se ha logrado ver un gran aumento en la demanda de energía, he aquí una parte importante a la contaminación del medio ambiente, pues para suplir las necesidades se han implementado diferentes métodos de obtención de la energía sin importar que consecuencias tenga esta, dado que recientemente se vieron las consecuencias, en Colombia se han ido implementando propuestas y métodos para que obtener una energía limpia (que no genere contaminación).

En el estudio nos damos cuenta de:

1. La normativa colombiana tiene falencias, pues no cuenta con una norma para las emisiones de Óxidos de Nitrógeno Y Óxidos de Azufre, teniendo que basarse en la normativa del Banco Mundial
2. Las centrales termoeléctricas no realizan los reportes correspondientes a los datos de emisión de GEI, ya que se consideran exentas al obtener el permiso de emisión de gases y no están obligadas a evaluarlas (Decreto 1687 de 1997)
3. Las centrales termoeléctricas a carbón presentes en Colombia tienen un período de funcionamiento que oscila entre 41 y 61 años. En esencia, esto significa que trata de instalaciones con eficiencias energéticas inferiores a la nueva tecnología, dificultando un tratamiento adecuado al problema ambiental

4. Las centrales de combustible Gas Natural, son termoeléctricas que no tienen más de 29 años, teniendo a su favor una mejor eficiencia y minimización de emisiones atmosféricas.

5. Para las termoeléctricas de carbón, su cantidad de emisión de gases, también varía de la calidad del carbón como su contenido de azufre y el porcentaje de cenizas.

6. Debido a la normativa, muy pocas centrales reportan datos de emisiones atmosféricas, por lo que obtener dicha información es difícil.

7. No hay información reciente de la cantidad de emisiones de MP, SOx y NOx, por parte de las plantas. Siendo encontrada solo en un estudio realizado del 2007.

8. Al comparar los datos de las centrales de gas, estos cumplen con la normativa de Material Particulado, Óxido de Nitrógeno y Óxido de azufre

9. Al comparar los datos de las centrales de carbón, la mayoría sobrepasa el límite de la normativa de las emisiones atmosféricas.

5. Lista de referencias

- Roberto E. (2003). La energía, historia de sus fuentes y transformación. Cunningham, IAPG Petrotecnia.
- Herrera Torres, G., López López, C., & Sánchez Quitian, M. V. (2008). *Diagnóstico de las centrales termoeléctricas en Colombia y evaluación de alternativas tecnológicas para el cumplimiento de la norma de emisión de fuentes fijas*. Épsilon, 1(10), 49-55.
- Monroy, I. L. (2002). La generación de energía eléctrica y el ambiente. *Gaceta Ecológica*, (65), 53-62.
- Ramírez Ospina, J. R. (2009). Análisis y propuesta de normatividad técnica para la conexión y operación de sistemas de generación distribuida en Colombia.
- Ruiz Hernández, A. (1988). La Demanda de Energía y el Planeamiento del Sector Eléctrico en Colombia. *Coyuntura Económica*. Vol. XVIII, (4), 187-198.
- W. Ñustes, & S. Rivera, “Colombia: Territorio de inversión en fuentes no convencionales de energía renovable para la generación eléctrica,” *Rev. Ingeniería Investigación y Desarrollo*, vol. 17 N° 1, pp. 37-48, enero, 2017
- Hoyos Barreto, A. E., Jiménez Correa, M. M., Ortiz Muñoz, A., & Montes de Correa, C. (2008). Tecnologías para la reducción de emisiones de gases contaminantes en plantas cementeras. *Ingeniería e Investigación*, 28(3), 41-46.
- Niño Rodríguez, C. A. (2018). *Gestión de riesgo ambiental: proceso de generación de emisiones contaminantes en la termoeléctrica a base de carbón del municipio de Paipa* (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).
- Delgado, J. L. G., & Jiménez, J. C. (Eds.). (2008). *Energía y regulación en Iberoamérica*. Thomson-Civitas. Cap. 14 Ramírez R. Nuevo Esquema Regulatorio Para Asegurar La Confiabilidad En El Suministro De Energía Eléctrica En Colombia
- López López, C., & Sánchez Quitián, M. V. (2007). *Diagnóstico de las centrales termoeléctricas en Colombia y evaluación de alternativas tecnológicas para el cumplimiento de la norma de emisión de fuentes fijas*. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/635
- Dávila Rueda, E. J. (2013). Evaluación de alternativas de suministro de energéticos para la generación termoeléctrica en Colombia en épocas del fenómeno del niño.

- Duque, I., & Puyo, D. (2021). *Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia*.
- Oriol Planas. (2017). *Central Solar Térmica*. Retrieved from <https://solar-energia.net/energia-solar-termica/central-solar-termica>
- Malagon, E. (2017). *La Hidroeléctrica, la mayor fuente de energía sostenible*. Energía para el Futuro
- Joseph G. (1981). *Combustion Fossil Power System*. SINGER
- Garcia Astillero, A. (2019). *Impacto ambiental del petróleo y el gas natural*. Ecología Verde. <https://www.ecologiaverde.com/impacto-ambiental-del-petroleo-y-el-gas-natural-1658.html>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT. (2008). *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire*. Bogotá.
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2005) *Boletín estadístico de minas y energía 1999-2005*. –UPME–.
- Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2021) *Proyección, Demanda, Energía, Eléctrica y Gas Natural 2021-2035*
- Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2021) *Proyección de Demanda de Energético, Informe 2021*
- Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2021) *Plan de expansión de referencia generación – Transmisión 2020-2034*. Vol. 1. Introducción y capítulo 1
- Unidad de Planeación Minero-Energética UPME. (1997) *Planteamiento Estratégico del Programa de Reconversión a Tecnologías Limpias en Termoeléctricas*. Santa Fé de Bogotá.
- Unidad de Planeación Minero-Energética UPME. (2010). *Proyección de Demanda de Energía en Colombia*. Bogotá.
- Unidad de Planeación Minero-Energética UPME. (2017). *Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017-2020*, 157. Bogotá.
- MINISTERIO del Medio Ambiente. (1999) *Guía Ambiental para Termoeléctricas y Procesos de Cogeneración - Parte Aire y Ruido*. Versión 01

- MINISTERIO del Medio Ambiente y Unidad de Planeación Minero-Energética UPME. (2002) *Plan de trabajo para el Mecanismo de Desarrollo Limpio*
- MINISTERIO del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo Para El Control Y Vigilancia De La Contaminación Atmosférica Generada Por Fuentes Fijas*. Versión 2.0
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, Departamento Nacional de Planeación. (2022) *CONPES 4075 Política de Transición energética*. Bogotá
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, Departamento Nacional de Planeación. (2016) *CONPES 3855 concepto favorable a la nación para contratar una operación de crédito externo hasta por USD 10 millones, o su equivalente en otras monedas, destinados a financiar el programa de gestión eficiente de la demanda de energía en zonas no interconectadas; proyecto piloto archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina*. Bogotá
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, Departamento Nacional de Planeación. (2005) *CONPES 3344 Lineamientos para la formulación de la Política de prevención y control de la contaminación del aire*. Bogotá
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, Departamento Nacional de Planeación. (2018) *CONPES 3943 Política para el Mejoramiento de la Calidad del aire*. Bogotá
- Endesa Educa. (2019). *Centrales eléctricas convencionales*.
<https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-electricas-convencionales/que-es-la-radioactividad>
- Endesa Educa. (2020) *Innovación, Generación I+D+I*.
<https://www.endesa.com/es/nuestro-compromiso/innovacion/innovacion-generacion-idi#:~:text=Entre%20las%20tecnolog%C3%ADas%20analizadas%20se,de%20tecnolog%C3%ADas%20RFID%20y%20NFC>.