EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS DE GENERACIÓN TÉRMICA A GAS

CAMILO ALFONSO YUSTI CORREA

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
SANTIAGO DE CALI
2025

EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS DE GENERACIÓN TÉRMICA A GAS

CAMILO ALFONSO YUSTI CORREA

DIRECTOR
CARLOS ARTURO LOZANO MONCADA, PhD

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
SANTIAGO DE CALI
2025

Nota de aceptación:

Firma presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

Agradezco A la Universidad del Valle por darme la oportunidad de crecer como persona y como profesional.

Al profesor Carlos Arturo Lozano Moncada por haber depositado su confianza en mí y por su paciencia y apoyo con sus conocimientos para la elección, desarrollo y culminación de este proyecto.

A mi familia por su apoyo e incondicionalidad durante la realización de este proyecto.

A mi madre María Fanny Correa por su motivación, esfuerzo, dedicación y paciencia conmigo durante esta etapa de mi vida.

A mi padre Luis Alfonso Yusti por su apoyo, paciencia y comprensión durante la realización de este proyecto y el transcurrir de mi carrera.

A mi hermana Eliana Yusti por su paciencia y por ser una persona tan especial.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron para la culminación de este ciclo en mi vida.

CONTENIDO

RESUMEN 8
ABSTRACT 8
INTRODUCCIÓN 9
OBJETIVOS 10
OBJETIVO GENERAL 10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 10
1 FUNCIONAMIENTO DE LAS CENTRALES ELÉCTRICAS A GAS 11
1.1 TIPOS DE CENTRALES ELÉCTRICAS 11
1.1.1 Centrales hidráulicas 11
1.1.2 Centrales nucleares 12
1.1.3 Centrales térmicas 12
1.1.4 Centrales eléctricas de ciclo combinado 13
1.2 GAS NATURAL 14
1.3 CENTRAL ELÉCTRICA A GAS NATURAL 15
1.3.1 Turbina de gas 16
1.3.2 Compresor 16
1.3.3 Cámara de combustión 17
1.3.4 Generador eléctrico 18
1.3.5 Transformador 18
1.3.6 Redes de transmisión 19
1.3.7 Ciclo de Brayton (Turbogas) 19
1.4 COMPARACIÓN CENTRALES ELÉCTRICAS GAS CICLO SIMPLE Y COMBINADO 21
1.4.1 Principio de funcionamiento 21
1.4.2 Eficiencia energética 22
1.4.3 Emisiones 22
1.4.4 Costos 22
2 PARÁMETROS FINANCIEROS POR CONSIDERAR PARA LA EVALUACIÓN DE UN PROYECTO DE GENERACIÓN TÉRMICA A GAS EN COLOMBIA 24
2.1 ESTUDIO DE MERCADO 24
2.1.1 Demanda 24
2.1.2 Oferta 25
2.1.3 Proyección de los ingresos 25

2.2 ESTUDIO TÉCNICO....25
2.2.1 Localización....26
2.2.2 Distribución....26
2.2.3 Determinar el tamaño....27
2.2.4 Factor de planta....27
2.2.5 Vida útil....28
2.2.6 La capacidad instalada....28
2.2.7 Evaluación de la tecnología....29
2.2.8 Adquisición de equipo y maquinaria....29
2.2.9 Análisis del impacto ambiental....31
2.2.10 Estructura legal....31
2.3 ESTUDIO FINANCIERO....32
2.3.1 CAPEX....32
2.3.2 OPEX....34
2.3.3 El punto de equilibrio....35
2.3.4 Análisis de los costos financieros....36
2.3.5 Fuentes de financiación....38
2.3.6 Evaluación del riesgo....38
2.3.7 Análisis de sensibilidad.....38
3 IDENTIFICACIÓN DE LA VIABILIDAD DE PROYECTOS DE GENERACIÓN TÉRMICA A GAS EN COLOMBIA....40
3.1 LCOE....40
3.2 NORMATIVIDAD....42
3.3 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA CON BASE EN REDES DE SUMINISTRO NACIONAL....43
3.4 MERCADO ENERGÉTICO EN COLOMBIA....47
3.5 FINANCIACIÓN....50
3.6 EJEMPLO TEÓRICO DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA PARA LA INVERSIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CENTRAL TÉRMICA A GAS....51
3.6.1 Supuestos del análisis....51
3.6.2 Análisis....52
3.6.3 Resultado....53
4 CONCLUSIONES....55
5 BIBLIOGRAFÍA....56

LISTAS ESPECIALES

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Esquema de una central hidroeléctrica....12
Ilustración 2 Esquema de una central nuclear....12
Ilustración 3 Esquema de una central térmica convencional....13
Ilustración 4 Esquema de una central térmica de ciclo combinado....14
Ilustración 5 Esquema central térmica a gas....15
Ilustración 6 Esquema de la turbina de gas....16
Ilustración 7 Esquema del compresor en turbinas de gas....16
Ilustración 8 Esquema cámara de combustión en turbinas de gas....17
Ilustración 9 Esquema generador eléctrico....18
Ilustración 10 Esquema transformador eléctrico....19
Ilustración 11 Ciclo Brayton....20
Ilustración 12 Diagramas P-v y T-s....21
Ilustración 13 Punto de equilibrio....36
Ilustración 14 Captura de un modelo de la plataforma GeoLCOE....41
Ilustración 15 LCOE para gas Según IEA....42
Ilustración 16 Precios del gas natural en la fuente de producción....43
Ilustración 17 Proyección del precio del gas en la central termoeléctrica....44
Ilustración 18 Red de gasoductos y termoeléctricas a gas en Colombia....45
Ilustración 19 Sistema interconectado nacional y regional STN y STR....46
Ilustración 20 Precio de oferta vs precio de bolsa 2021-2022....48
Ilustración 21 Capacidad efectiva neta (MW)-2023....48
Ilustración 22 Precio de oferta de tecnologías en el MEM colombiano....49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Comparación ciclo simple y ciclo combinado....23
Tabla 2 Tarifas de transporte de gas....44
Tabla 3 Inversiones en centrales térmicas a gas en Colombia....50
Tabla 4 Datos iniciales (USD)....52
Tabla 5 Flujo de caja (USD)....53
Tabla 6 Indicadores de rentabilidad (USD)....53

RESUMEN

En este trabajo se identifican los principales elementos para tener en cuenta al realizar una evaluación financiera de los proyectos de generación térmica a gas en Colombia. En un principio se presenta su funcionamiento ya que estos proyectos desempeñan un importante papel en el suministro de energía eléctrica en el país, para posteriormente considerar parámetros que incluyen el análisis de costos, la estimación de la demanda, los precios de la energía eléctrica, impactos ambientales, los aspectos regulatorios y legales ya que, al conocer y evaluar estos elementos, es posible evaluar financieramente de este tipo de proyectos y tomar decisiones informadas.

Palabras clave: Generación eléctrica, proyecto térmico a gas, parámetros financieros

ABSTRACT

In this work identifies the main elements to consider when carrying out a financial evaluation of gas-fired thermal generation projects in Colombia. Initially, it tries to give an idea of its operation since these projects play an important role in the electricity supply in the country, to later consider parameters that include cost analysis, demand estimation and electricity prices, environmental impacts, regulatory and legal aspects, since by understanding and evaluating these elements, it is possible to financially evaluate this type of project and make informed decisions.

Keywords: Electric generation, gas thermal project, financial parameters

INTRODUCCIÓN

La importancia que tiene la electricidad en nuestra vida diaria se ha hecho tan evidente que no es posible cuantificarla. En el mundo como lo conocemos hoy no puede existir ninguna ciudad, por pequeña que sea, que no necesite energía eléctrica para su alumbrado, sus transportes, comunicaciones, etc [1]. Esto ocasiona que la producción y el suministro eficiente de energía eléctrica sean fundamentales para el desarrollo de la sociedad.

Existen diferentes formas de generar energía eléctrica, algunas de estas son a base de combustibles fósiles otras son de fuentes renovables. En la sección 1.1 se presentan los tipos de centrales eléctricas para dar una idea de algunas de las diferentes formas que hay actualmente de generar electricidad. La realización de este proyecto de investigación se centra en la generación de energía térmica a gas, para lo cual se incluyen en la sección las definiciones de los componentes de este tipo de centrales y el ciclo termodinámico que propicia su funcionamiento.

En la sección 2 se identifican los parámetros financieros que se deben tener en cuenta para evaluar un proyecto de construcción de central eléctrica a gas para ello se presenta de forma general los elementos relevantes del estudio de mercado y el estudio técnico que se deben considerar en términos monetarios en la evaluación financiera. Por ejemplo, los costos elegir la ubicación, el tamaño, el funcionamiento del mercado, las fuentes de inversión y la normatividad entre otros.

En la sección 3 con base en lo anterior se trata de dar una idea de que elementos se necesitan considerar de acuerdo con el tipo de proyecto que se planteó y se presenta un ejemplo teórico, utilizando indicadores como el VPN o La TIR con una recopilación de información de algunas centrales existentes, para lo cual se incorporan distintas variables como la estructura de ingresos y egresos. así mismo, se le entrega al lector información, en función de aspectos como la cercanía a la boca del pozo y el punto de conexión entre otros.

En Colombia este tipo de proyectos son respaldados por el incentivo del cargo por confiabilidad para las centrales eléctricas en Colombia. Este esquema busca cubrir la demanda, incluso en condiciones de escasez, remunerando los activos de generación de aquellos que sigan con las normas establecidas. Con esto se mejoran las condiciones que permiten hacer viable las inversiones en los recursos de generación de energía eléctrica que son indispensables para garantizar el cumplimiento de la demanda [2] y evitar el desabastecimiento en estas épocas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Identificar los principales elementos a considerar en la evaluación financiera para la construcción de proyectos generación térmica a gas

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el funcionamiento de las centrales eléctricas de generación térmica a gas
- Identificar los parámetros financieros que deben considerarse en la evaluación de un proyecto de generación térmica a gas en Colombia
- Identificar la viabilidad de este tipo de proyectos en Colombia

1 FUNCIONAMIENTO DE LAS CENTRALES ELÉCTRICAS A GAS

En los últimos años el acceso a la electricidad ha contribuido al desarrollo de tecnologías e innovaciones que han mejorado la calidad de vida de las personas, esto se debe a que la disponibilidad de energía tiene un efecto directo sobre la productividad, la salud, la educación, el abastecimiento de agua potable, los servicios de comunicación, y una larga lista de beneficios y servicios.

La electricidad llega a los hogares gracias a las centrales eléctricas, que de acuerdo con Enciclonet, (2022) son aquellas instalaciones capaces de producir energía a escala industrial, en estos lugares se transforma la energía obtenible de fuentes primarias, posteriormente esta se transporta por medio de redes eléctricas hasta los centros de consumo.

Los tipos de centrales de producción de energía eléctrica se clasifican principalmente según el combustible utilizado por la central. [4] en la sección 1.1 se presentan brevemente algunos de los tipos de centrales que existen, pero se aclara que en este capítulo solo se hará énfasis en las centrales eléctricas a gas, puesto que el gas natural es el combustible fósil con menor impacto medioambiental de todos los utilizados, tanto en la etapa de extracción, elaboración y transporte, como en la fase de utilización [5].

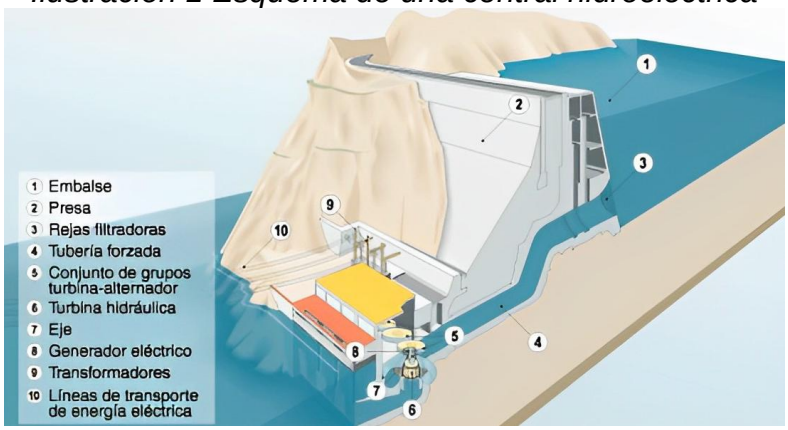
En ese sentido, en la sección 1.2 se presentan las características del gas para el funcionamiento de las centrales eléctricas a gas, más adelante en la sección 1.3 se presentan las generalidades y en la Ilustración 5 el esquema general, a partir de allí se describen cada uno de sus componentes, también se presenta en la sección 1.3.7 el Ciclo de Brayton con el que se pretende explicar el ciclo de termodinámico que permite el funcionamiento de estas instalaciones.

1.1 TIPOS DE CENTRALES ELÉCTRICAS

1.1.1 Centrales hidráulicas

Una central hidroeléctrica puede definirse como una instalación mediante la que se consigue aprovechar la energía contenida en una masa de agua situada a una cierta altura, transformándola en energía eléctrica. Esto se logra conduciendo el agua desde el nivel en el que se encuentra, hasta un nivel inferior en el que se sitúan una o varias turbinas hidráulicas que son accionadas por el agua y que a su vez hacen girar uno o varios generadores produciendo energía eléctrica [6].

Ilustración 1 Esquema de una central hidroeléctrica

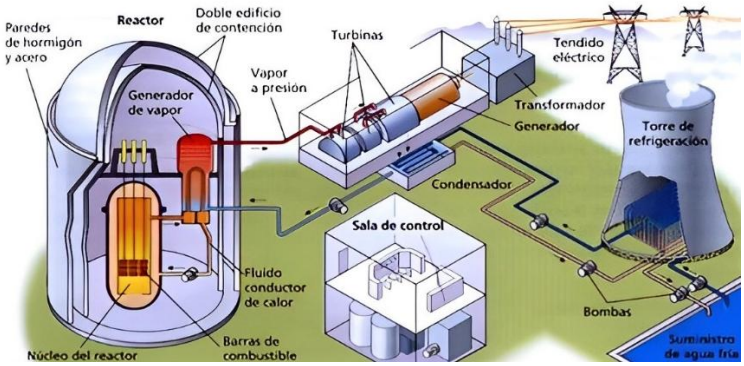


Fuente: Tomado de Unesa, (2019)

1.1.2 Centrales nucleares

Una central nuclear es una instalación industrial que tiene la función de generar energía eléctrica a partir de la energía nuclear. Estas centrales constan de un reactor nuclear actuando como una caldera. El calor que se obtiene de la reacción de fisión en cadena del uranio que hay en el reactor se utiliza para producir vapor de agua y a su vez mover una turbina que transforma la energía nuclear en electricidad [8].

Ilustración 2 Esquema de una central nuclear

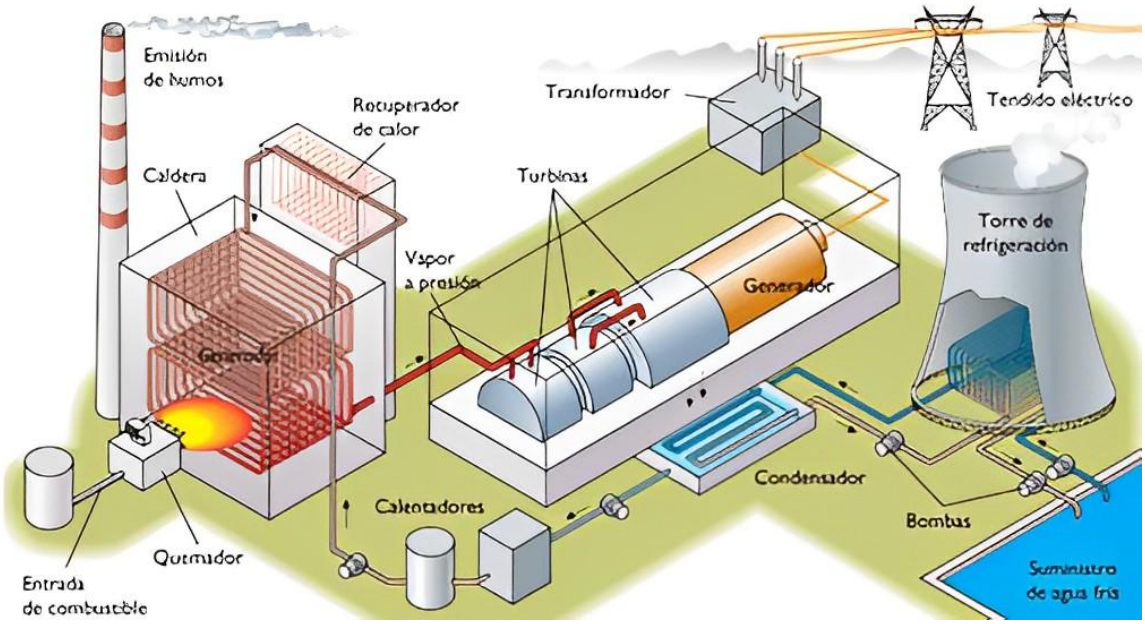


Fuente: Tomado de Erenovable, (2022)

1.1.3 Centrales térmicas

Estas centrales utilizan combustible fósil (carbón, fuel-oil, o gas), el cual es quemado en una caldera para producir vapor de agua. Este vapor de agua a alta presión se transforma también en energía mecánica mediante una turbina de vapor. Finalmente, la turbina de vapor mueve el generador eléctrico. La eficiencia energética de las centrales térmicas dependerá fundamentalmente del poder calorífico del combustible [4].

Ilustración 3 Esquema de una central térmica convencional



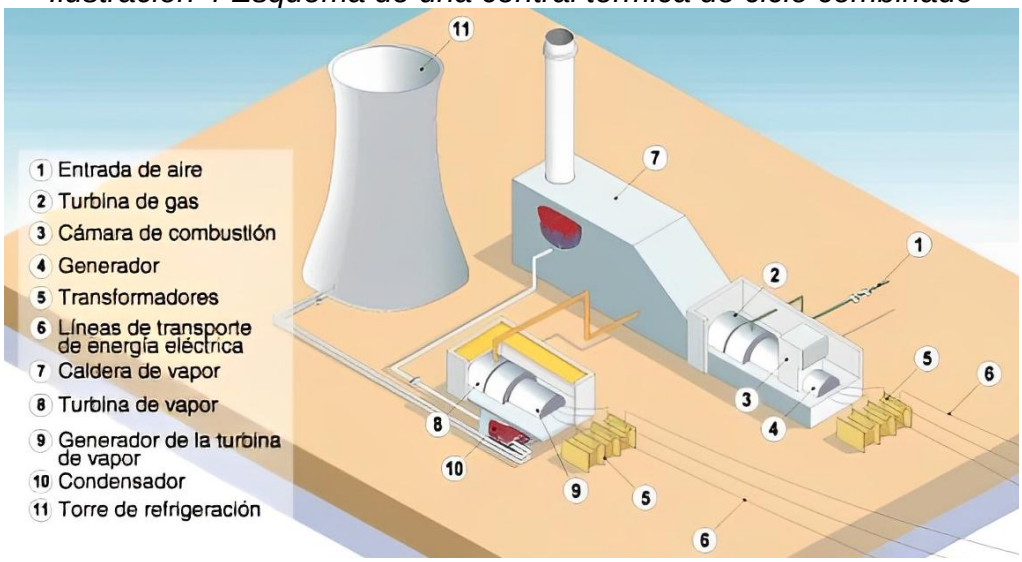
Fuente: Tomado de Ruiz Perales, (2010)

1.1.4 Centrales eléctricas de ciclo combinado

Otras centrales térmicas utilizan como combustible el gas que con aire a presión alimentan a la turbina para obtener la energía mecánica que finalmente mueve un alternador. El aire a presión se obtiene mediante un compresor acoplado mecánicamente al eje de la turbina, el compresor absorbe aire a presión atmosférica lo comprime y lo inyecta en la cámara de combustión o quemador donde se mezcla con el gas para desencadenar su combustión [4].

Las centrales de ciclo combinado utilizan dos ciclos térmicos: el principal está basado en una turbina de gas el cual como se acaba de describir se denomina ciclo Brayton. Los gases de combustión expulsados por este proceso todavía tienen una temperatura alta del orden de los 600ºC, y se aprovechan en una caldera de recuperación de calor para la generación de vapor que mueve una segunda turbina en este caso de vapor (con un ciclo térmico Rankine).

Ilustración 4 Esquema de una central térmica de ciclo combinado



Fuente: Tomado de Unesa, (2011)

Cada una de las turbinas están acopladas a un generador eléctrico, o bien ambas turbinas pueden accionar simultáneamente a un generador único. Los rendimientos de estos ciclos son mayores que para el resto de centrales térmicas llegando al 60% en algunos casos [4].

1.2 GAS NATURAL

De acuerdo con BBVA (2022), el gas natural es un combustible fósil que junto con el carbón y el petróleo como fuente de energía proceden de la descomposición de materia orgánica de animales, plantas y microorganismos, este proceso de transformación tarda millones de años.

Estos procesos geológicos de descomposición generan hidrocarburos en estado, líquido, sólido y gaseoso. Cuando están en estado líquido se denominan petróleo, en estado sólido se denominan petróleo pesado/extrapesado y aquellos que se encuentran en estado gaseoso son conocidos como gas natural [13].

Este último consiste en una mezcla de hidrocarburos ligeros, principalmente en metano y etanol, con cantidades menores de propano, butano, pentano e hidrocarburos más pesados [14].

Como cualquier otro combustible el gas natural produce CO2; sin embargo, debido a la alta proporción de hidrógeno-carbono de sus moléculas, sus emisiones son un 40-50% menores de las del carbón y un 25-30% menores de las del fuel-oil [5].

En otras palabras, debido a su composición química diferente, la liberación de CO_2 por energía generada dista mucho de ser igual. Así, la combustión de gas natural

para la obtención de energía eléctrica emite aproximadamente 500 gramos de CO_2 por cada kWh producido, el petróleo 700 gramos por kWh y el carbón 900 gramos por kWh [15].

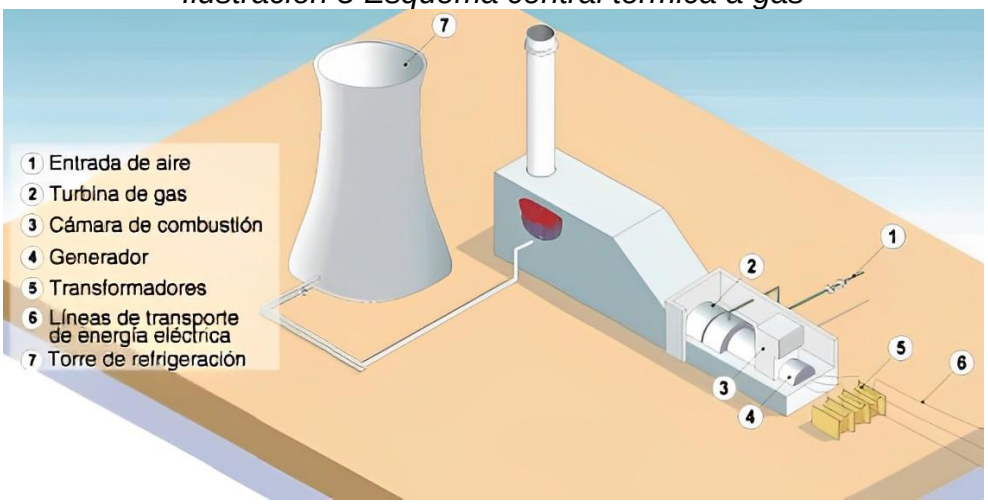
El gas natural y sus usos han variado de acuerdo con las necesidades de la sociedad. En la evolución a un mundo más globalizado es importante que los países posicionen al gas natural en sus matrices energéticas como el combustible de la transición, ya que es un aliado ideal para energías renovables no convencionales [16].

1.3 CENTRAL ELÉCTRICA A GAS NATURAL

Las centrales eléctricas a gas son aquellas instalaciones que producen energía eléctrica a partir de combustible fósil (gas), el proceso que ocurre en ellas ocurre generalmente en las turbinas de gas [17].

En la Ilustración 5 se muestra un breve esquema de los elementos o partes que conforman una central eléctrica a gas ciclo convencional. Y a continuación se explican cada uno de los componentes de este.

Ilustración 5 Esquema central térmica a gas



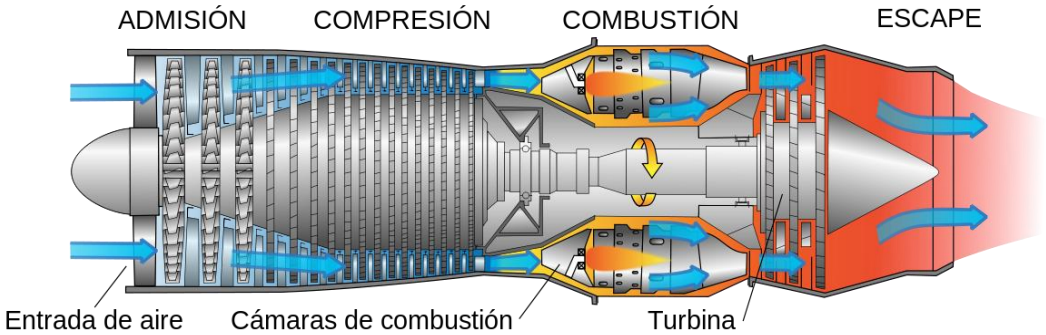
Fuente: Adaptado de Unesa, (2011)

El proceso inicia cuando se introduce aire atmosférico (ver punto 1 de la Ilustración 5) dentro del compresor en el punto 2 de la Ilustración 5 donde se comprime, por ende, su temperatura y presión se elevan. El compresor se encuentra incluido en la turbina.

1.3.1 Turbina de gas

Un motor de turbina de gas es un tipo de motor de combustión interna. Básicamente, el motor es un dispositivo de conversión de energía, que transforma la energía almacenada en el combustible en energía mecánica útil en forma de potencia de rotación. El término "gas" se refiere al combustible que se introduce en el motor y se utiliza como medio de trabajo en el proceso de conversión de la energía [18].

Ilustración 6 Esquema de la turbina de gas

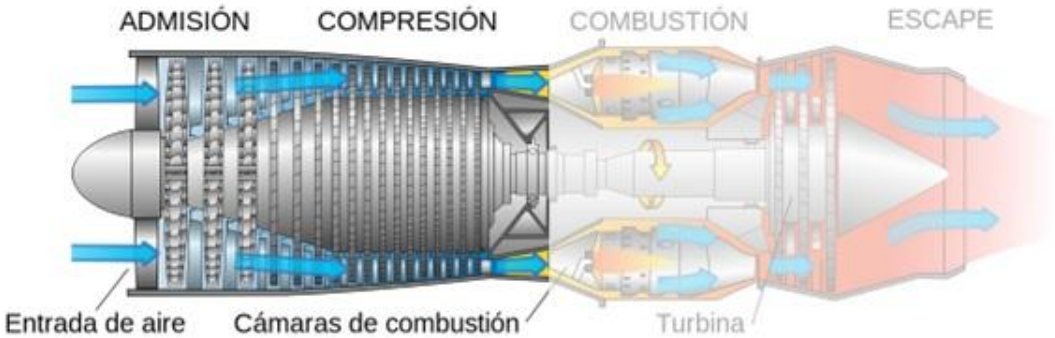


Fuente: Tomado de Energyeducation, (2015)

1.3.2 Compresor

Un compresor es una máquina térmica diseñada para aumentar la presión de cierto tipo de fluidos los cuales son compresibles, tales como gases y vapores. La compresión se realiza mediante un intercambio de energía entre la máquina y el fluido, en el cual el trabajo realizado por el compresor es transferido al fluido aumentando su presión y energía cinética impulsándole a fluir [20].

Ilustración 7 Esquema del compresor en turbinas de gas



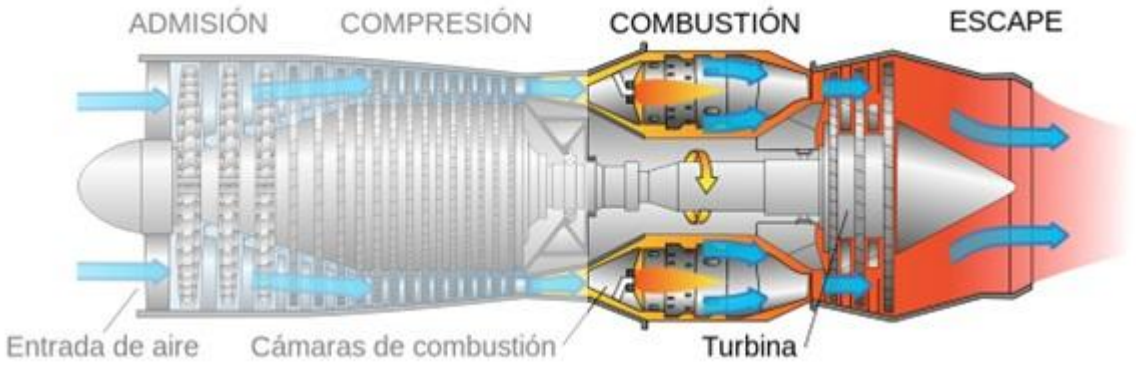
Fuente: Adaptado de Energyeducation, (2015)

El aire descargado por este se hace pasar a continuación a través de un quemador (punto 3 de la Ilustración 5) donde, mediante la adición de combustible, se realiza el proceso de combustión a presión esencialmente constante.

1.3.3 Cámara de combustión

La cámara de combustión es el lugar donde se inyecta combustible, se mezcla con el aire comburente procedente del compresor y se provoca la combustión. Este proceso es continuo y se realiza en condiciones de presión y temperaturas elevadas. Una cámara de combustión de una turbina de gas consta de un armazón exterior que resiste las presiones de los gases y que puede ser de acero ferrítico, y de un armazón interior sometido a temperaturas elevadas que, al menos en su parte superior en las verticales, o donde van los quemadores en las horizontales, se debe construir de acero austenítico o de material refractario [21].

Ilustración 8 Esquema cámara de combustión en turbinas de gas



Fuente: Adaptado de Energyeducation, (2015)

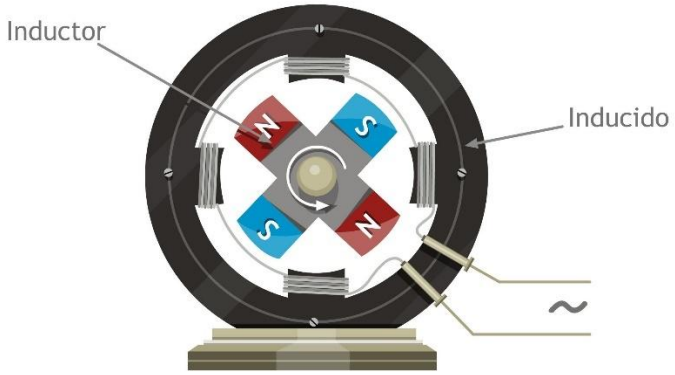
El gas caliente que se produce se transporta a alta velocidad a través de la turbina (una serie de aspas en forma de perfil aerodinámico que transfieren la energía creada por la combustión para hacer girar un eje de salida que también implementa el compresor). La energía térmica residual en los gases de escape calientes se puede utilizar en diferentes procesos industriales [18]. E impulsar el compresor [17].

Esta energía es capturada a través del generador eléctrico como se muestra en el punto 4 de la Ilustración 5, como se describe en la sección 1.3.4 y pasa al transformador en el punto 5 de la Ilustración 5, como se describe en la sección 1.3.5 para elevar la tensión haciéndola apta para su transmisión a través de las redes de transmisión como se muestra en el punto 6 de la Ilustración 5 y como se describe en la sección 1.3.6 para entregarle la energía al sistema de transmisión nacional.

1.3.4 Generador eléctrico

Un generador es una máquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Lo consigue gracias a la interacción de sus componentes principales: el rotor (parte giratoria) y el estátor (parte estática). Cuando un generador eléctrico está en funcionamiento, una de las dos partes genera un flujo magnético el cual actúa como inductor para que el otro lo transforme en electricidad y actúe como inducido [22].

Ilustración 9 Esquema generador eléctrico



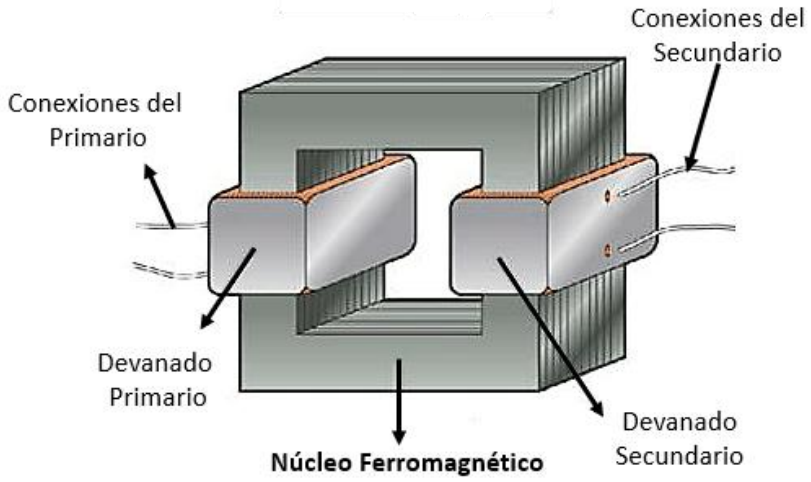
Fuente: Tomado de Edoarado, (2010)

1.3.5 Transformador

Un transformador eléctrico es una máquina, que se basa en el principio de la inducción electromagnética entre bobinas estacionarias, enlazadas por un campo magnético, con el fin de cambiar niveles de tensión y corriente a igual frecuencia [24].

La estructura básica de un transformador de dos bobinas se presenta en la figura donde se aprecian dos devanados aislados eléctricamente (devanados primario y secundario), que comparten un mismo núcleo, el cual es usado para concentrar y dirigir el flujo magnético. Para acoplar la energía eléctrica producida por el generador con el nivel de tensión de la red eléctrica.

Ilustración 10 Esquema transformador eléctrico



Fuente: Tomado de Tipler & Gene

1.3.6 Redes de transmisión

Las líneas eléctricas (conductores) entregan energía eléctrica desde la planta generadora hasta los clientes: primero la potencia total de la planta generadora se transmite a los centros de carga a través de líneas de larga distancia denominadas líneas de transmisión [26].

La electricidad generada se transmite a todos los clientes mediante una compleja red de sistemas de transmisión compuesta principalmente por líneas de transmisión, transformadores y equipos de protección [26].

1.3.7 Ciclo de Brayton (Turbogas)

Las centrales térmicas a gas utilizan como principio de funcionamiento el ciclo termodinámico Brayton estándar de aire, el medio de trabajo se comporta como un gas ideal de composición y calores específicos constantes.

En la Ilustración 11 se presenta el funcionamiento del ciclo Brayton, en la Ilustración 12 el diagrama temperatura-entropía y el diagrama presión-volumen para este ciclo.

Este ciclo inicia en el paso 1 de la Ilustración 11 cuando el aire frío y a presión atmosférica entra al compresor, del paso 1 al 2 el aire mediante un compresor es comprimido y dirigido hacia la cámara de combustión (el compresor es impulsado por la turbina), como se muestra en la Ilustración 11 este proceso es isentrópico, pero se aumenta la temperatura, en la Ilustración 12 se muestra que se disminuye

el volumen aumentando la presión. Puesto que esta fase es muy rápida, se modela mediante una compresión adiabática [17].

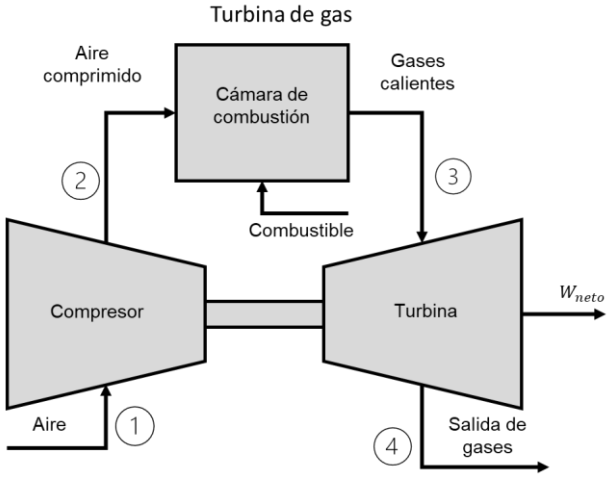
Del paso 2 al 3 de la Ilustración 11 en la cámara, el aire es calentado por la combustión del gas. puesto que la cámara está abierta el aire puede expandirse, en la Ilustración 12 se muestra que la temperatura continúa aumentando al igual que la entropía y mientras la presión se mantiene constante el volumen aumenta. El calentamiento se modela como un proceso isóbarico [17].

La adición de calor a presión constante es equivalente al proceso de combustión, dado que las turbinas de gas operan con relaciones aire/combustible elevadas, los productos de combustión pueden tratarse como aire solamente sin pérdida de esa exactitud [27].

Del paso 3 al 4 de la Ilustración 11 el aire caliente pasa por la turbina, a la cual mueve. En la Ilustración 12 la entropía se mantiene constante mientras la temperatura desciende y la presión disminuye mientras el volumen aumenta, En este paso donde el aire se expande y se enfría rápidamente, se describe mediante una expansión adiabática [17].

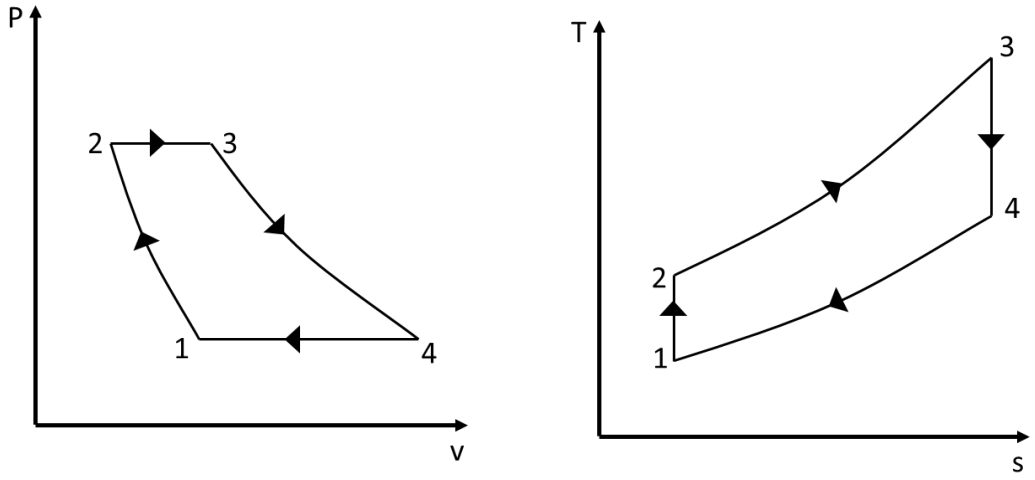
En el paso 4 el aire enfriado (pero a una temperatura mayor que la inicial) sale al exterior. También se genera un trabajo W que es el que se utiliza para impulsar el rotor del generador Ilustración 11.

Ilustración 11 Ciclo Brayton



Fuente: Elaboración Propia adaptado de ÇENGEL & BOLES (2015)

Ilustración 12 Diagramas P-v y T-s



Fuente: Elaboración Propia adaptado de ÇENGEL & BOLES, (2015)

1.4 COMPARACIÓN CENTRALES ELÉCTRICAS GAS CICLO SIMPLE Y COMBINADO

El gas ciclo convencional y el ciclo combinado son dos tecnologías utilizadas en la generación de energía eléctrica a partir de gas natural. Aunque las centrales eléctricas en la configuración ciclo combinado son más eficientes, generando más energía con la misma cantidad de combustible [28]. El ciclo simple resulta más fácil de instalar gracias a su simplicidad y así mismo entran factores tanto económicos como técnicos y contextuales al momento de decidirse por uno de los dos. A continuación, algunas de las diferencias entre ambos ciclos.

1.4.1 Principio de funcionamiento

I. Gas ciclo convencional

En este ciclo, el gas natural se quema en una turbina de gas, generando energía mecánica que impulsa un generador eléctrico para producir electricidad. El calor generado en la combustión se disipa en el ambiente y no se utiliza para generar energía adicional [29].

II. Ciclo combinado

En este ciclo, el gas natural se quema en una turbina de gas similar al ciclo convencional. Sin embargo, en lugar de disipar el calor de escape, se utiliza para generar vapor en una caldera de recuperación de calor. El vapor se dirige a una turbina de vapor adicional, que también impulsa un generador eléctrico. De esta

manera, se aprovecha tanto la energía de la combustión directa como la energía térmica del vapor, lo que mejora la eficiencia general del ciclo [29].

1.4.2 Eficiencia energética

I. Gas ciclo convencional

Debido a que solo se utiliza la energía de la combustión directa en la turbina de gas, la eficiencia energética típica de este ciclo es del 35 al 45%, dependiendo del diseño y las condiciones de operación [28].

II. Ciclo combinado

Al aprovechar también la energía térmica del vapor generado en la caldera de recuperación, el ciclo combinado puede alcanzar eficiencias energéticas mucho más altas, que suelen oscilar entre el 50 y el 60%. Esto se debe a que se utiliza el calor residual para generar electricidad adicional en la turbina de vapor [28].

1.4.3 Emisiones

I. Gas ciclo convencional

El ciclo convencional emite una mayor cantidad de gases de efecto invernadero (CO_2, NO_x, SO_2) y otros contaminantes en comparación con el ciclo combinado. Esto se debe a que el calor de escape no se aprovecha y se libera al ambiente [30].

II. Ciclo combinado

Gracias a la mayor eficiencia y al aprovechamiento del calor residual, el ciclo combinado emite menos gases de efecto invernadero y otros contaminantes por unidad de electricidad generada en comparación con el ciclo convencional. Esto contribuye a una menor huella ambiental [30].

1.4.4 Costos

I. Gas ciclo convencional

El ciclo convencional es generalmente más económico en términos de inversión inicial y costos de operación y mantenimiento en comparación con el ciclo combinado [31].

II. Ciclo combinado

Debido a su mayor complejidad y necesidad de equipos adicionales, como calderas de recuperación de calor y turbinas de vapor, el ciclo combinado tiende a tener costos de inversión más altos [32]. Sin embargo, debido a su mayor eficiencia energética, puede proporcionar ahorros a largo plazo en los costos de combustible.

Tabla 1 Comparación ciclo simple y ciclo combinado

Característica	Ciclo Simple	Ciclo Combinado
Número de ciclos	Un ciclo (turbina de gas)	Dos ciclos (turbina de gas + turbina de vapor)
Aprovechamiento del calor	No se aprovecha el calor residual	El calor residual se utiliza para generar vapor y producir más electricidad
Eficiencia	30% - 40%	50% - 60% o más
Complejidad	Relativamente sencillo	Más complejo debido al uso de calderas y turbinas adicionales
Costo inicial	Menor costo inicial	Mayor inversión inicial
Tiempo de construcción	Más corto	Más largo
Impacto ambiental	Mayor emisión de calor no aprovechado	Menores emisiones y mayor eficiencia energética

Fuente: Elaboración Propia

2 PARÁMETROS FINANCIEROS POR CONSIDERAR PARA LA EVALUACIÓN DE UN PROYECTO DE GENERACIÓN TÉRMICA A GAS EN COLOMBIA

Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único [33]. En este caso el proyecto que se aborda en este documento está relacionado con la generación de energía eléctrica. A partir del aprovechamiento y uso de combustibles fósiles (gas) para producir electricidad.

Para ello en este capítulo se describirá de forma general los parámetros financieros que se deberían tener en cuenta, pretendiendo dar soporte en información adecuada al lector a la hora de identificar aquellos elementos que se deben considerar durante la realización de la evaluación financiera para la construcción de una central de generación de térmica a gas. Con el fin de facilitar la toma de decisiones.

Una evaluación financiera principalmente consiste en estudios que determinan las condiciones con las que el proyecto será puesto en marcha y su funcionamiento posterior. Si bien algunas condiciones no son necesariamente financieras estas deben monetizarse en la evaluación financiera a fin de cuantificar la inversión que se requiere en el proyecto dadas las condiciones reales del entorno.

2.1 ESTUDIO DE MERCADO

Un estudio de mercado es un proceso mediante el cual se recopila y analiza sistemáticamente información sobre un mercado para comprender las necesidades, preferencias y comportamientos de los consumidores potenciales [34].

El objetivo final es obtener información valiosa que permita tomar decisiones informadas sobre el desarrollo de nuevos productos o servicios, la identificación de oportunidades de crecimiento y la mejora de la relación con los clientes existentes, para este tipo de proyectos un estudio de mercado buscaría analizar la demanda de energía eléctrica en la zona donde se ubicaría la planta, los costos de operación del proyecto considerando el precio del gas natural y otros combustibles alternativos como carbón, diésel o biomasa.

2.1.1 Demanda

La demanda tiene que ver con lo que los consumidores desean adquirir. Demandar significa estar dispuesto a comprar, mientras que comprar es efectuar realmente la adquisición. La demanda refleja una intención, mientras que la compra constituye una acción [35].

2.1.2 Oferta

El lado de la oferta tiene que ver con los términos en los que las empresas desean producir y vender sus productos. Al igual que hicimos en el caso de la demanda, al distinguir entre demandar y comprar, ahora debemos precisar la diferencia entre ofrecer y vender. Ofrecer es tener la intención o estar dispuesto a vender, mientras que vender es hacerlo realmente. La oferta recoge las intenciones de venta de los productores [35].

2.1.3 Proyección de los ingresos

La proyección de ingresos se basa en analizar la demanda proyectada del mercado. Para hacer una proyección de ingresos, para esto se debe primero haber realizado en el estudio de mercado, definir demanda esperada de la energía eléctrica que la planta va a generar. Una vez que se ha determinado la demanda proyectada, se procede a establecer un plan de negocios para maximizar los ingresos generados por la planta [36].

Se debe tener en cuenta que las proyecciones de ingresos pueden tener un margen de error debido a factores externos como cambios en la oferta y la demanda o fluctuaciones de precios. Por tanto, es fundamental realizar un seguimiento constante y ajustes necesarios en la estrategia de negocio a fin de mantener la rentabilidad de la planta [36].

2.2 ESTUDIO TÉCNICO

Contempla los aspectos técnicos operativos necesarios en el uso eficiente de los recursos disponibles para la producción de un bien o servicio deseado y en el cual se analizan la determinación del tamaño óptimo del lugar de producción, localización, instalaciones y organización requeridos incluyendo aspectos como la tecnología y equipos necesarios, los posibles impactos ambientales, la seguridad en la operación y otros factores [37].

Este estudio puede incluir el análisis de diversos escenarios técnicos y económicos, como los costos de implementación, operación y mantenimiento, así como la proyección de los ingresos de venta de energía eléctrica. En esencia, un estudio técnico en la generación térmica a gas tiene como objetivo principal determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto, asegurando que se cumplan los requerimientos técnicos y las normativas en la industria [37].

El estudio técnico considera a nivel general los siguientes componentes:

2.2.1 Localización

La elección de la localización de la central está condicionada por algunas características, para ello se debe tener en cuenta el tamaño del predio que sea suficiente pues este depende de diversos factores, como el tamaño de la central térmica, la capacidad de generación, la tecnología y otros aspectos técnicos específicos del proyecto [35].

La elección de la localización debe basarse principalmente en la disponibilidad del gas como recurso principal para el funcionamiento de la central. Por esto es importante determinar la localización más adecuada en base a factores que nos ayuden a determinar su mejor ubicación.

Se considera tanto la proximidad a gasoductos o fuentes de gas, como también la demanda de energía en la región, ya que la generación típicamente se utiliza para satisfacer esta demanda local. Para evaluar la demanda de energía, es necesario realizar un análisis que permita identificar si existe una brecha entre la oferta y la demanda [37].

Es importante señalar que la ubicación de la central térmica también puede ser un factor importante en la determinación del tamaño del predio. Para ello el tamaño del predio debe ser capaz de albergar la construcción de la central y las futuras expansiones que se requieran, determinación del tamaño óptimo depende de diversos factores [35].

2.2.2 Distribución

La distribución física de una central térmica a gas también está condicionada por varios factores, como la capacidad de generación, la tecnología y el espacio disponible en el sitio de la central [4]. Los equipos por distribuir en el espacio disponible serian:

- Unidad de combustión: donde se quema el gas para generar calor.
- Turbinas de gas: que operan gracias al calor producido por la combustión.
- Cámara de aislamiento acústico: para reducir la contaminación acústica de las turbinas
- Generadores eléctricos: convierten la energía mecánica en electricidad.
- Transformador: aumenta el voltaje de la energía eléctrica generada.
- Torre de enfriamiento: ayuda a enfriar los gases de escape y disminuye los efectos negativos en el medio ambiente.
- Sistema de control y monitoreo: permite a los ingenieros controlar y monitorear el funcionamiento de la central térmica a gas.
- Sistema de tratamiento de gas: elimina cualquier impureza en el gas antes de que sea quemado.

- Sistema de suministro de gas: conecta la central a la fuente de gas.
- Subestación eléctrica: transforma la energía generada a un voltaje adecuado para su uso en la red eléctrica.

Así mismo la distribución física de los equipos está condicionada según las distancias mínimas en el proceso de generación eléctrica en Colombia definidas en el reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE

2.2.3 Determinar el tamaño

Al determinar el tamaño de una central este varía dependiendo de diversos factores, como el tipo y cantidad de combustible utilizado, la potencia requerida, así como la eficiencia del equipo utilizado para la generación de energía y las condiciones específicas del proyecto como el impacto ambiental, la regulación gubernamental y los costos financieros [31].

El proceso de dimensionamiento de la planta implica determinar el número y tamaño óptimo de los componentes necesarios para cumplir con los objetivos de eficiencia y producción esperados tales como turbinas, calderas, intercambiadores de calor y otros equipos necesarios para satisfacer la demanda de energía [37].

La oferta y la demanda pueden tener un impacto significativo para determinar el tamaño de una central, ya que la cantidad de energía demandada por los consumidores, así como la cantidad de energía ofrecida por la red eléctrica, pueden influir en la decisión de construir una central y en su capacidad de generación [35].

2.2.4 Factor de planta

El factor de planta es un término que se utiliza en la industria de la generación de energía para referirse a la cantidad de energía que se ha generado en un determinado período de tiempo en comparación con la cantidad máxima que se podría generar si la planta funcionara al 100% de su capacidad durante ese mismo período de tiempo [38].

En otras palabras, es la relación entre la energía efectivamente producida y la energía máxima posible de generar, considerando para la determinación de esta última la capacidad efectiva neta, durante el mismo período de tiempo y expresada por lo general en términos de porcentaje [38].

El factor de planta es relevante en este tipo de proyectos de generación eléctrica por varias razones.

- Eficiencia

- Costos de operación
- Planificación de la capacidad
- Impacto ambiental

El tamaño de la capacidad instalada de la central eléctrica es un factor determinante en la construcción de la misma, esto anterior ya que existen diferencias regulatorias asociadas a esto, pues si la planta eléctrica tiene un tamaño menor a 20MW es considerada como una planta menor y si es igual o superior a 20MW se considera un generador. Las principales diferencias con respecto a esto es que las plantas menores están reglamentadas por la resolución CREG 086 de 1996 [39].

2.2.5 Vida útil

La vida útil de los proyectos de generación eléctrica a base de gas natural puede variar dependiendo de varios factores, como la tecnología utilizada, el mantenimiento y la operación adecuada del proyecto, la calidad del gas natural suministrado y las condiciones ambientales en las que se encuentra el proyecto [37].

En general, se espera que los proyectos de generación eléctrica a base de gas natural tengan una vida útil de al menos 20 años, aunque algunos proyectos pueden durar más años con el mantenimiento adecuado y las inversiones necesarias en actualizaciones tecnológicas [39].

Es importante tener en cuenta que, con el tiempo, los costos de mantenimiento y operación pueden aumentar a medida que los equipos y las tecnologías envejecen y requieren más reparaciones y actualizaciones. Además, los proyectos de generación eléctrica a base de gas natural también pueden verse afectados por los cambios en la regulación gubernamental y en los mercados energéticos, lo que puede tener un impacto en su vida útil y rentabilidad.

2.2.6 La capacidad instalada

La capacidad instalada es una ratio de producción que determina el máximo rendimiento posible esperable por parte de una empresa teniendo en cuenta unos recursos empleados y en un periodo de tiempo [40]. Un incremento en la capacidad instalada en un proyecto de generación eléctrica puede aumentar su vida útil y rentabilidad a largo plazo al aumentar la cantidad de energía que puede ser producida a través del proyecto [41]. Con más capacidad instalada, el proyecto puede satisfacer la creciente demanda de energía, aumentar ingresos por la venta de energía, disminuir costos operativos y mejorar su rentabilidad financiera.

Además, el aumento de la capacidad instalada también puede mejorar la eficiencia de la planta y reducir la necesidad de invertir en nuevos proyectos o en expansiones de la capacidad instalada existente en el futuro cercano. Todo esto se traduce en una mayor vida útil y sostenibilidad del proyecto.

El suministro de energía eléctrica que proporciona una central depende de varios factores, incluyendo la capacidad de generación de la central, la demanda energética en el momento y las restricciones de la red de transmisión de energía eléctrica [42]. La cantidad de energía eléctrica generada por la central es proporcional a la cantidad de gas que se usa, el cual depende de lo acordado con el proveedor del combustible y la cantidad de energía eléctrica que vende una central térmica a gas se determina por el contrato de suministro que tenga con la empresa distribuidora de energía eléctrica.

2.2.7 Evaluación de la tecnología

La evaluación de la tecnología implica la evaluación y análisis de la tecnología y equipos requeridos para la implementación y operación del proyecto. En esto se contempla evaluar la capacidad de la tecnología y equipos para integrarse con otras fuentes de energía, si es necesario además de examinar su efectividad en términos de eficiencia energética y capacidad operativa [43].

Considerar la comparación de las diferentes opciones es un componente subjetivo en cuanto a la confianza en la tecnología, la ingeniería y en las quienes lleven a cabo el montaje y las obras civiles. Además, las turbinas de gas en cuanto a lo que se refiere a eficiencia son una tecnología en constante desarrollo que periódicamente va incorporando mejoras, lo que implica que la evaluación de la tecnología debe ser llevada a cabo permanentemente [43].

2.2.8 Adquisición de equipo y maquinaria

A la hora de decidirse por la compra de un equipo o maquinaria, se deben tener en cuenta muchos factores que influyen directamente en la elección. La mayor parte de la información que necesita recopilar ayudará a comparar diferentes instrumentos y también formará la base para cálculos y decisiones posteriores. A continuación, se mencionan algunos puntos que se deben investigar debido a la utilidad que tendrá en etapas posteriores [37].

a) Proveedor.
   Es útil para la presentación formal de las cotizaciones.

b) Precio.
   Se utiliza en el cálculo de la inversión inicial.

c) Dimensiones.

Dato que se usa al determinar la distribución de la planta.

d) Capacidad.
Es un aspecto muy importante, ya que, en parte, de él depende el número de máquinas que se adquiera. Cuando ya se conocen las capacidades disponibles hay que hacer un balance de líneas para no comprar capacidad ociosa o provocar cuellos de botella, es decir, la cantidad y capacidad de equipo adquirido debe ser tal que el material fluya en forma continua.

e) Flexibilidad.
Se refiere a que algunos equipos son capaces de realizar operaciones y procesos unitarios en ciertos rangos y provocan en el material cambios físicos, químicos o mecánicos en distintos niveles.

f) Mano de obra necesaria.
Es útil al calcular el costo de la mano de obra directa y el nivel de capacitación que se requiere.

g) Costo de mantenimiento.
Se emplea para calcular el costo anual del mantenimiento. Este dato lo proporciona el fabricante como un porcentaje del costo de adquisición.

h) Infraestructura necesaria.
Se refiere a que algunos equipos requieren alguna infraestructura especial (por ejemplo, alta tensión eléctrica), y es necesario conocer esto, tanto para preverlo, como porque incrementa la inversión inicial.

i) Equipos auxiliares.
Hay máquinas que requieren aire a presión, agua fría o caliente, y proporcionar estos equipos adicionales es algo que queda fuera del precio principal. Esto aumenta la inversión y los requerimientos de espacio.

j) Costo de los fletes y de seguros.
Debe verificarse si se incluyen en el precio original o si debe pagarse por separado y a cuánto ascienden.

k) Costo de instalación y puesta en marcha.
Se verifica si se incluye en el precio original y a cuánto asciende.

l) Existencia de refacciones en el país.
Hay equipos, sobre todo los de tecnología avanzada, cuyas refacciones sólo pueden obtenerse importándolas. Si hay problemas para obtenerlos o para importarlos, el equipo puede permanecer parado y hay que prevenir esta situación.

Es importante que al seleccionar equipos y maquinaria se haga una evaluación integral que tome en cuenta los factores mencionados anteriormente para maximizar la eficiencia y rentabilidad a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

2.2.9 Análisis del impacto ambiental

En el estudio de impacto ambiental es una descripción detallada del proyecto, de esa misma forma una evaluación de los posibles impactos ambientales que éste pueda generar ya sea durante su construcción como durante su operación. Examinando y justificando las alternativas de procesos y las soluciones adoptadas, así como las medidas correctoras y de mitigación propuestas para minimizar los impactos ambientales [43].

2.2.10 Estructura legal

La normatividad es importante en una evaluación de un proyecto de generación térmica a gas en Colombia porque establece las reglas y los requisitos que deben ser cumplidos para llevar a cabo el proyecto. La normatividad también garantiza que el proyecto sea diseñado y ejecutado de manera segura y eficiente, cumpliendo con las normas de calidad y medio ambiente, y respetando los derechos de las comunidades locales.

Cumplir con la normatividad asegura que el proyecto sea viable desde un punto de vista legal y regulatorio, lo que reduce el riesgo de retrasos y sanciones legales que podrían afectar la rentabilidad del proyecto. En resumen, es importante tener en cuenta la normatividad en la evaluación de un proyecto de generación para garantizar el éxito y la sostenibilidad a largo plazo del proyecto [36].

Se busca identificar la existencia de alguna restricción legal a la realización de una inversión en un proyecto, debiendo realizarse en las etapas iniciales de la formulación y preparación, ya que, un proyecto altamente rentable, puede resultar no factible por una norma legal [37].

Los elementos que se deben considerar en el Estudio Legal son:

- Tipo de proyecto que se pretende crear.
- Formación del Marco Jurídico que la constituye.
- Requisitos Legales y de operación de esta.

Se debe asignar especial importancia al análisis del cuerpo normativo que regirá la acción del proyecto en todas sus etapas, desde el origen hasta la implementación pasando por los impuestos y las posibles penalizaciones [36].

La importancia de este estudio se deriva de la posibilidad de llevar a cabo una valorización económica de las variables técnicas del proyecto, que permitan una apreciación exacta o aproximada de los recursos necesarios para el proyecto; además de proporcionar información de utilidad al estudio económico-financiero. Todo estudio técnico tiene como principal objetivo el demostrar la viabilidad técnica del proyecto que justifique la alternativa técnica que mejor se adapte a los criterios de optimización [36].

2.3 ESTUDIO FINANCIERO

El objetivo principal de un estudio financiero es determinar la viabilidad del proyecto y hacer proyecciones financieras para proporcionar una base sólida para la toma de decisiones. Este análisis incluye la evaluación de los estados financieros, el flujo de caja, los activos y pasivos, los costos y los ingresos [44].

2.3.1 CAPEX

CAPEX es una abreviatura de "Capital Expenditures" en inglés, que se traduce al español como "gastos de capital" o "inversiones en bienes de capital". Se refiere a los gastos realizados por una empresa para adquirir, mejorar o mantener activos fijos a largo plazo, como propiedades, equipos, maquinaria o tecnología. Estas inversiones tienen como objetivo generar beneficios y contribuir al crecimiento y desarrollo de la empresa a largo plazo [45].

Este es un indicador que en los estudios financieros juega un papel importante en las proyecciones financieras de una empresa. Ya que ayuda a determinar las necesidades de inversión en activos y evaluar la rentabilidad a largo plazo de dichas inversiones.

Existen dos tipos principales de CAPEX:

- CAPEX de mantenimiento : se refiere a la inversión necesaria para cubrir el deterioro y el gasto en amortizaciones del inmovilizado. Es la inversión requerida para mantener el mismo nivel de ventas actual [46].

- CAPEX de expansión : se refiere a la inversión necesaria para incrementar el nivel actual de ventas. Es la inversión que realiza la empresa para adquirir nuevos activos fijos y/o mejorar los existentes, con el objetivo de aumentar el crecimiento y la capacidad de producción [46].

El cálculo del CAPEX puede variar según el contexto y la empresa, pero generalmente implica observar las variaciones en los activos y pasivos durante un período determinado. Por ejemplo, se puede calcular restando la variación en los activos de la variación en los pasivos durante un año [47].

El CAPEX en un proyecto de generación térmica a gas se refieren a aquellos costos que se dan por la adquisición de activos que permiten poner en funcionamiento el proyecto. En otras palabras, son aquellos que se dan desde la concepción de la idea que da origen al proyecto hasta poco antes de la producción [48]. Adicional a lo anterior la suma de todos los costos requeridos para construir y poner en marcha la planta en estos de deben considerar los costos por concepto de obras civiles y montajes.

Los términos, obras civiles y montajes hacen alusión a los trabajos necesarios para poner en funcionamiento una central eléctrica considerando, de manera general los movimientos de tierra previos (rellenos y excavaciones), la instalación de los equipos y otros edificios administrativos, caminos, urbanización y cierres, entre otros [49].

I. Activos

Los activos se refieren a los recursos físicos, humanos, financieros y tecnológicos necesarios para llevar a cabo el proyecto [43]. Por ejemplo, los activos en un proyecto de generación de energía térmica a gas. Pueden incluir la infraestructura necesaria para la extracción, transporte y almacenamiento del gas natural, así como la adquisición y mantenimiento de los equipos necesarios para la generación de energía, como turbinas de gas, calderas, intercambiadores de calor, enfriadores y otros componentes de la planta de energía.

Así mismo se pueden considerar activos el terreno y las instalaciones donde se construirá el proyecto, así como las conexiones a la red eléctrica y los permisos y autorizaciones necesarios. Todos estos activos son necesarios para el éxito del proyecto de generación y se deben gestionar correctamente para maximizar su valor y minimizar los riesgos y costos asociados con la operación y el mantenimiento del proyecto a lo largo de su vida útil [43].

II. Activos fijos

Es el conjunto de bienes tangibles que no son objeto de transacciones y que en la mayoría de los casos no cambian de forma física a lo largo del ciclo productivo. Por lo tanto, son bienes duraderos esenciales para que las empresas produzcan bienes y servicios [35]. Se llama fijo porque la empresa no puede desprenderse fácilmente de él, ya que podrían ocasionar problemas en su funcionamiento. Las inversiones en activo fijo son aquéllas que se realizan en los bienes tangibles que se utilizarán en el proceso de transformación de los insumos o que sirvan de apoyo a la operación normal del proyecto. Estos generalmente sufren depreciación física [50].

Ejemplos de Activo Fijo:

- Terrenos
- Edificios
- Equipo
- Mobiliario
- Vehículos
- Herramientas
- Etc.

III. Activos Diferidos

Es un conjunto de bienes necesarios para el funcionamiento de la empresa que generalmente se pagan por anticipado y cuya principal característica es que son intangibles. Ejemplo de activos diferidos: asistencia técnica, capacitación, gastos preoperativos, gastos de instalación y puesta en marcha, contratos de servicios, elaboración de estudios de evaluación, etc [50].

El análisis de los costos de inversión consiste en una evaluación detallada de los costos necesarios para llevar a cabo el proyecto de construcción de la planta también incluyendo la evaluación de los costos de los equipos y materiales necesarios para su desarrollo sin olvidar los costos de la mano de obra [51].

Considerando también el coste de los permisos necesarios como ambientales, y regulatorios para su construcción y operación. Así mismo también se considera el costo del suministro de combustible (gas natural) necesario para la operación junto con lo que serían los servicios públicos.

2.3.2 OPEX

El acrónimo OPEX significa “Operating Expenses”, es decir, gastos operativos. Esto se refiere a todos aquellos desembolsos del día a día que se requieren para que la proyecto funcione [45]. Son recursos financieros que se debe contar para que el proyecto empiece a operar. Es decir, hay que financiar la primera producción antes de recibir ingresos, ejemplo: debe comprarse materia prima e insumos, pagar mano de obra directa, pagar servicios como electricidad, agua, teléfono, pagar renta y otros servicios auxiliares.

En otras palabras los gastos operativos son todos aquellos que se dan desde la puesta en marcha del proyecto hasta el final de su vida útil [48]. Ya que, son los costos recurrentes necesarios para mantener en funcionamiento la planta de generación en el tiempo.

Entonces, el capital de trabajo es un presupuesto inicial para realizar las operaciones cotidianas antes de obtener ingresos, después de esto, estos se transforman en costos [50]. Estos costos incluyen:

- Combustible: El costo del gas natural, que se consume durante el proceso de generación eléctrica, es uno de los principales componentes del costo de operación.

- Personal: Es necesario un equipo de operadores y técnicos para mantener y administrar la planta de generación en funcionamiento. El costo de los salarios y beneficios de estos empleados es un aspecto importante del costo de operación.

- Mantenimiento y reparación: La maquinaria y los equipos requeridos para la generación de energía térmica necesitan ser mantenidos y, en algún momento, reparados. La frecuencia y el costo de estas tareas de mantenimiento y reparación son una parte importante del costo de operación.

- Otros gastos de operación: Pueden incluirse costos como seguros, almacenamiento de combustible, sistemas de seguridad, mejora continua de la eficiencia energética, entre otros.

Es importante tener en cuenta que los costos de operación pueden variar con el tiempo debido a factores como el precio del combustible, la inflación, la tecnología y los cambios regulatorios. Por lo tanto, es importante entender que esto está sujeto a otros factores como lo pueden ser políticos y sociales lo cual dificulta su cálculo a largo plazo para asegurarse de que tenga un plan de operación rentable y sostenible a largo plazo.

2.3.3 El punto de equilibrio

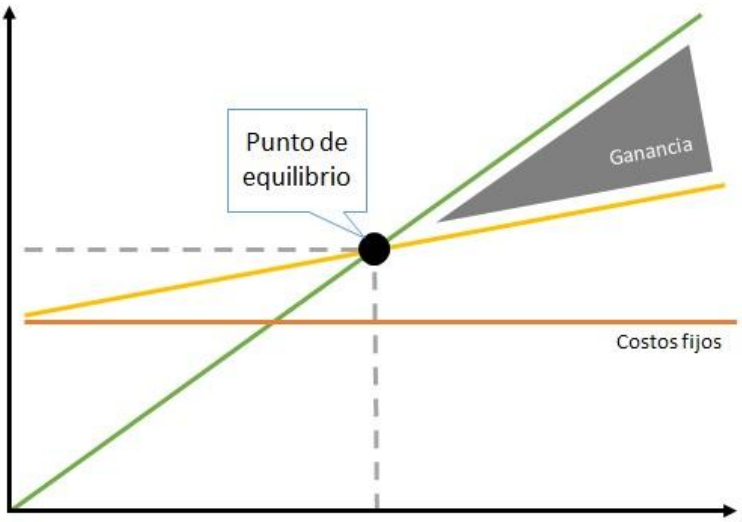
En una empresa o negocio, el punto de equilibrio es el punto en el cual el valor de los ingresos por ventas es exactamente igual a la suma de los costos fijos y los costos variables**.** en este punto la empresa no obtiene ni ganancia ni pérdida. Por lo cual, al aumentar el nivel de ventas genera utilidad, y, por el contrario, al bajar el nivel de ventas, la empresa incurre en una pérdida [37].

Para aplicar o conocer el punto de equilibrio es necesario reclasificar los costos y gastos de la empresa en dos grupos:

- **Costos fijos:** Son aquellos que se causan independientemente del volumen de ventas. Ejemplo: Arrendamientos, nómina, servicios públicos o pago de seguros.
- **Costos variables:** Son los que varían directamente con el volumen de ventas de la empresa. Ejemplo: Comisiones de vendedores, impuestos, combustible, publicidad, costos de distribución, etc.

Conocer el punto de equilibrio le permite a la administración de la empresa formular políticas y tomar decisiones sobre el nivel de producción, cantidades de productos o servicios a comercializar para poder obtener utilidad, teniendo en cuenta variables como: el precio, los costos fijos, los costos variables y el volumen de ventas [37].

Ilustración 13 Punto de equilibrio



Fuente: Adaptado de [35]

El estudio de mercado debe permitir tomar las consideraciones para ponerlas en términos monetarios esto con el objetivo de establecer el precio al que comprarían la energía las comercializadoras y el estado actual de las empresas competidoras. En general estos datos pueden ser utilizados para estimar el tamaño del mercado en términos monetarios, y para determinar la rentabilidad del servicio a ofrecer [35].

2.3.4 Análisis de los costos financieros

Después de estimar y proyectar los costos de inversión y de operación, se puede establecer una estrategia financiera a largo plazo y estimar los ingresos proyectados en base a la demanda esperada. Para esto se debe realizar un seguimiento constante del análisis de costos y ajustes de la estrategia financiera en base a la variabilidad de los parámetros a seguir, en aras de mejorar la rentabilidad y sostenibilidad del proyecto [36].

En general para el análisis de los costos financieros en proyectos de generación térmica a gas, se pueden emplear diversos métodos, entre ellos:

- **El costo de capital.**

La estructura financiera de un proyecto puede definirse a partir de conceptualizar qué es el costo capital y como la combinación de alternativas de financiación entre recursos propios y endeudamiento que determina la posición financiera del proyecto en un momento determinado. La proporción de cada una de las fuentes de financiación depende de varios factores entre ellos el costo de estas [52].

El costo de capital es la tasa de rendimiento promedio que debe obtener la empresa sobre sus inversiones para que su valor en el mercado permanezca inalterado, teniendo en cuenta que este costo es también la tasa de descuento de las utilidades empresariales futuras. Así pues, qué es el costo capital es identificar, entre otras cosas, los elementos que determinan el valor de la empresa [52].

- **Valor presente neto**

El valor presente neto (VPN) es el valor de los flujos de efectivo proyectados, descontados al presente. Es un método de modelado financiero utilizado para la elaboración de presupuestos de capital y para evaluar la rentabilidad de las inversiones y proyectos propuestos [43].

Con la fórmula de valor presente neto puedes conocer cuánto vas a ganar o perder en un proyecto o inversión. Para calcular el valor presente neto (VPN) hay que visualizar todos los flujos de caja hasta el momento actual y descontarles el tipo de interés determinado. De esta forma, cada entrada y salida de efectivo se restará del valor actual y se sumará, tal como lo establece la siguiente fórmula [43].

$$VPN = \sum_{n = Numero\ de\ periodos} \frac{Flujo\ de\ efectivo\ en\ un\ solo\ periodo}{(1 + Tasa\ de\ descuento)^n}$$

- **Tasa interna de retorno**

La tasa interna de retorno o rentabilidad, TIR, es una medida que permite determinar si una inversión será rentable en función de su desembolso inicial y de su rendimiento total. También se utiliza para comparar diferentes inversiones y proyectos, así como períodos de tiempo y tipos de interés. Para muchos autores, es la tasa de descuento o tipo de interés, que hace que el valor actual neto (VAN) o valor presente neto (VPN), de todos los flujos de caja sea igual a cero [35].

En pocas palabras, la tasa interna de retorno es el porcentaje de ganancia o pérdida que tendrá una inversión, es decir, su rentabilidad. Su cálculo indica cuál

sería el rendimiento anual de una inversión si se compusiera continuamente a una tasa específica [43].

$$TIR = \sum_{T=O}^{n} \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$
$$Fn = Flujo\ de\ efectivo\ anual$$
$$n = Vida\ util\ del\ proyecto$$

Si la TIR, es mayor o igual a la tasa de interés o coste de oportunidad, se puede asumir que el proyecto será rentable, por lo que se aceptará. En el caso contrario (si es menor), se considera que la rentabilidad del proyecto está por debajo del mínimo, por lo que no es viable [35].

2.3.5 Fuentes de financiación

Las fuentes de financiamiento son todas aquellas opciones que tienen los proyectos para obtener recursos económicos necesarios para su operación o ejecución. En el caso de un proyecto de generación térmica a gas en Colombia, las posibles fuentes de financiamiento incluyen bancos, organismos multilaterales o fondos de inversión entre otros [36].

Es importante evaluar las opciones de financiamiento en términos de su costo, plazo, tasa de interés, restricciones y otros términos y condiciones antes de tomar una decisión sobre el financiamiento del proyecto.

2.3.6 Evaluación del riesgo

El riesgo de un proyecto de inversión puede ser definido como la volatilidad o variabilidad de los flujos de caja reales respecto a los flujos estimados, mientras mayor sea la viabilidad de estos flujos mayor será el riesgo a que se encontrará sometido el proyecto de inversión [53].

Todos los proyectos tienen implícitos algún tipo de riesgo. Esto es válido tanto para los pequeños propósitos, los planes de mediana envergadura o los proyectos millonarios. La administración de riesgo es el proceso sistemático de planificar, identificar, analizar, responder y controlar los riesgos del proyecto. Este proceso trata de maximizar la probabilidad de ocurrencia de los sucesos positivos y minimizar la probabilidad de ocurrencia de los sucesos adversos [53].

2.3.7 Análisis de sensibilidad.

El análisis de sensibilidad es una herramienta de gestión que permite a las organizaciones predecir los resultados de un proyecto, ayudando a comprender

las incertidumbres, las limitaciones y los alcances de un modelo de decisión. También conocido como análisis hipotético, permite determinar cómo los diferentes valores de una variable independiente pueden afectar a una variable dependiente particular. Es útil en una amplia gama de temas además de la gestión de proyectos, como finanzas, ingeniería, geografía, biología, etc [54].

Existen dos tipos de análisis de sensibilidad: el local y el global. El primero es una técnica que estudia el impacto de un solo parámetro a la vez en función al costo, manteniendo las variables de manera fija. El análisis de sensibilidad global, en cambio, utiliza una muestra global con el propósito de explorar el espacio de diseño [55].

Lo anterior con el objetivo de:

1. Facilitar la toma de decisiones.
2. Asegurar el control de calidad.
3. Mejorar la asignación de recursos.

3 IDENTIFICACIÓN DE LA VIABILIDAD DE PROYECTOS DE GENERACIÓN TÉRMICA A GAS EN COLOMBIA

En este capítulo se espera dar una idea de cómo considerar la mayoría de los parámetros descritos anteriormente comenzando con un análisis de la normatividad vigente relevante para la generación eléctrica para posteriormente analizar los costos del combustible y su respectivo transporte según su origen y distancia a la planta, a continuación encontrar como se remunera la generación eléctrica en Colombia y su histórico de precios luego el cómo se financian estos proyectos en Colombia y ver algunos proyectos similares cuanto les ha costado su inversión por capacidad instalada seguidamente analizar cuestiones como la vida útil y demás para plantear un ejemplo teórico sobre el cual concluir si son económicamente posibles

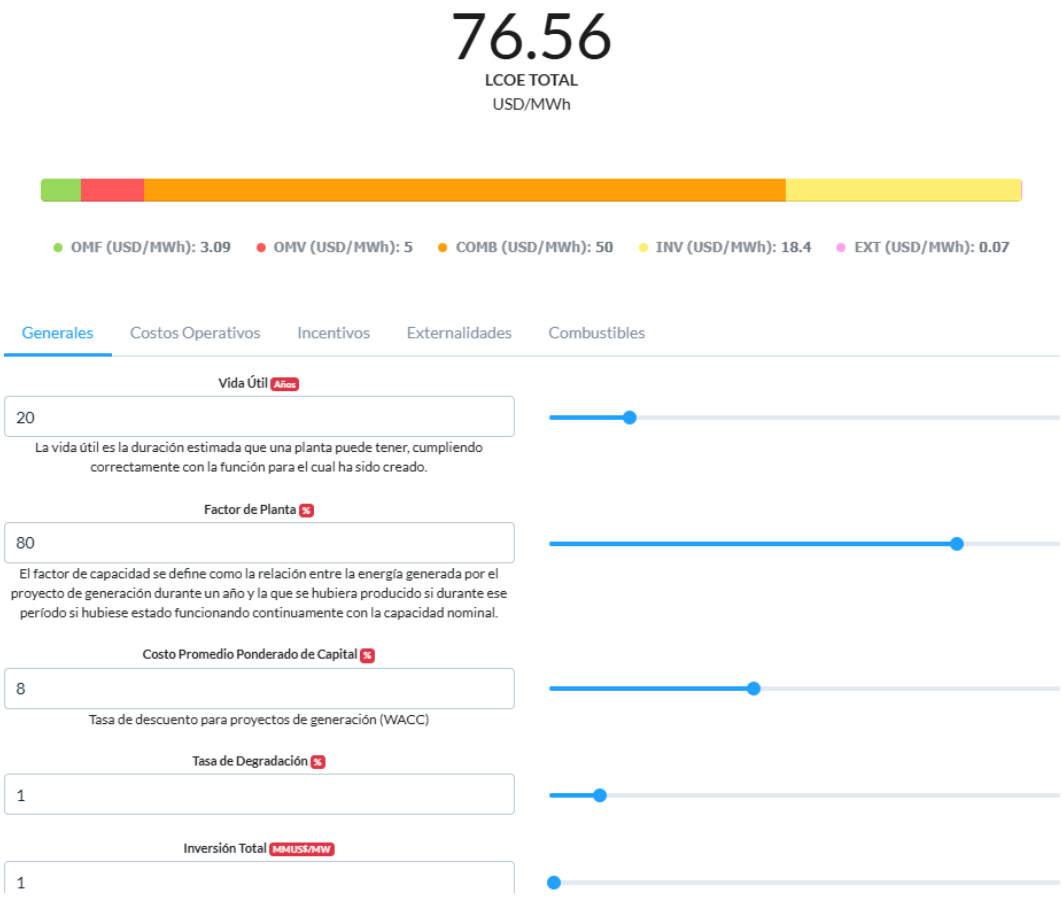
3.1 LCOE

El costo nivelado de energía (LCOE, por sus siglas en inglés: Levelized Cost of Energy) es un indicador financiero especifico de proyectos de generación eléctrica ya que calcula el costo por unidad de energía (USD/kWh) y se emplea para evaluar el costo promedio de generación de energía en una planta eléctrica. Este parámetro considera todos los costos asociados a cada sistema de generación (Capex y Opex) a lo largo de su vida útil. Por esta razón, el LCOE se utiliza tanto en la planificación de proyectos de inversión como en la comparación de diferentes tipos de fuentes de generación de energía eléctrica [56].

- **Capex**: Incluyen los gastos en ingeniería civil, equipos mecánicos y eléctricos, así como los costos indirectos, ajustados al contexto colombiano.
- **Opex**: Se dividen en costos fijos y variables relacionados con la operación y el mantenimiento, además de otros gastos como seguros, gestión ambiental y desmantelamiento.
- **Externalidades**: Se evalúa el impacto ambiental de las emisiones de gases de efecto invernadero, influyendo en el LCOE a través de tasas impositivas por tonelada métrica de CO2, SO2 y NOx.

Para este indicador podemos tomar como referencia la plataforma GeoLCOE en la cual hay parametrizados modelos de diferentes formas de generación de energía incluyendo la tratada aquí, generación a gas cicló simple [57]. A continuación, se presenta un ejemplo.

Ilustración 14 Captura de un modelo de la plataforma GeoLCOE



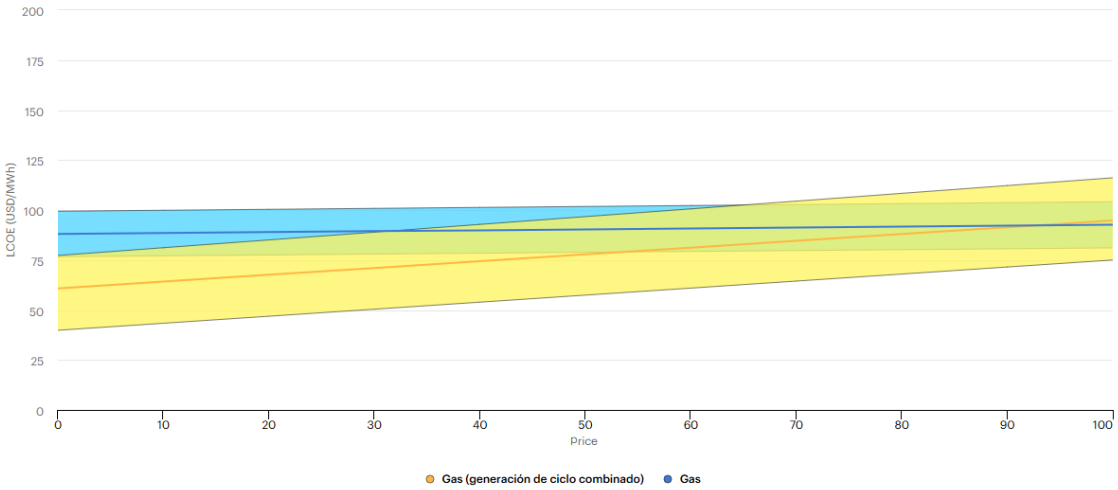
Fuente: tomado de GeoLCOE

Esta herramienta presenta una interfaz amigable que permite calcular rápidamente el costo nivelado de electricidad (LCOE) de un proyecto partiendo de información básica de los costos agregados de inversión, operación y mantenimiento, combustible, entre otros [57].

El LCOE se ve como el precio constante al cual la electricidad debería venderse durante la vida del proyecto para cubrir los costos de inversión, el análisis de los costos nivelados de energía demuestra la importancia de considerar tanto los costos económicos como los incentivos regulatorios al evaluar la viabilidad de diferentes tecnologías de generación de energía [57].

Según IEA (International Energy Agency) el LCOE para plantas de gas natural varía entre $42 y $89 por USD/MWh , esto depende de factores como costos locales de combustible, costo de la tecnología, regulaciones, e incentivos fiscales [58].

Ilustración 15 LCOE para gas Según IEA



Fuente: tomado de International Energy Agency

3.2 Normatividad

En Colombia, los proyectos de generación eléctrica con ciclo convencional están regulados por varias normativas y regulaciones. Algunas de las principales son:

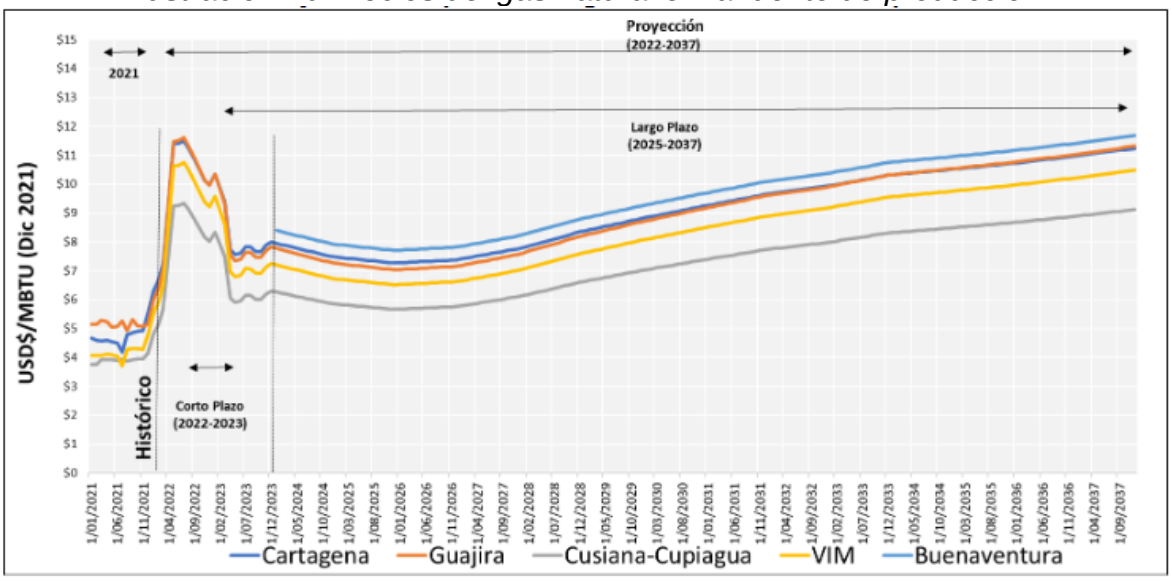
- Resolución CREG 030 de 2018: Esta resolución establece los requisitos técnicos y operativos para la conexión de los generadores de energía eléctrica a la red de transmisión nacional y a las redes de distribución locales [59].
- Resolución CREG 114 de 2007: Esta resolución establece los criterios para la medición y la facturación de la energía eléctrica generada por los generadores de energía eléctrica conectados a la red de transmisión nacional y a las redes de distribución locales [60].
- Resolución 909 del 2008: establece que las emisiones permisibles para centrales eléctricas con generación superior a 20MW
- Resolución MADS 1202 de 2018: Esta resolución establece los lineamientos y criterios ambientales para la evaluación y el seguimiento de los impactos ambientales de los proyectos de generación de energía eléctrica en Colombia [61].
- Decreto 1073 de 2015: Este decreto establece los requisitos para la realización de estudios de impacto ambiental en proyectos de generación de energía eléctrica [62].
- RESOLUCIÓN CREG No. 101 062 DE 2024: Regula el cargo por confiabilidad y establece los requisitos para su aplicación en el sector eléctrico colombiano [63].

- Ley 1819 de 2016: Mediante la cual se establece el impuesto al carbono

3.3 Localización de la planta con base en redes de suministro nacional

En la ilustración 16 se presentan los precios del gas natural en la fuente de producción, estos se calculan partiendo de las proyecciones de los marcadores internacionales publicados por la Administración de Información Energética de EE UU (EIA) [64]. Esta ilustración muestra el histórico y la proyección en USD/MBTU de los precios desde el 2021 hasta el 2037 donde se indica que A partir de febrero de 2023 los precios del gas pueden incrementar.

Ilustración 16 Precios del gas natural en la fuente de producción



Fuente: UPME, (2022)

En la Tabla 2 se muestra la tarifa a la que se trasporta el gas natural a las diferentes centrales térmicas a gas que operan actualmente en Colombia, se puede ver que aquellas con tarifa más alta es consecuencia de la distancia que tienen a la fuente del gas así mismo cuando la distancia entre la fuente y la central se desprecia el costo del transporte.

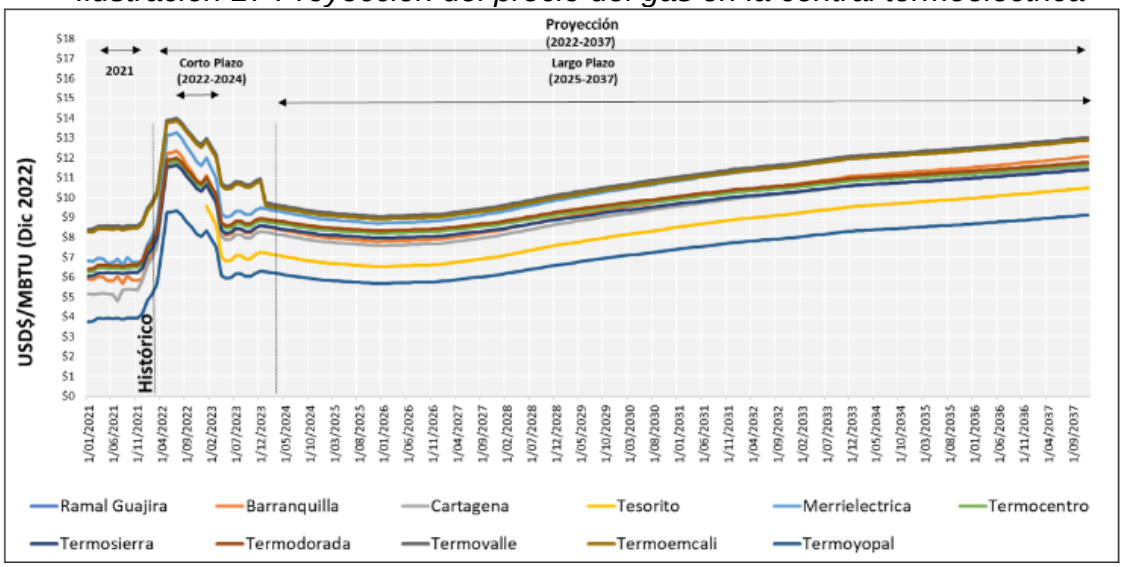
Tabla 2 Tarifas de transporte de gas

Planta térmica	Fuente gas	Tarifa transporte USD/MBTU
TÉRMICAS GUAJIRA	Guajira	0.3102
TÉRMICAS BARRANQUILLA	Guajira	0.7506
TÉRMICAS CARTAGENA	VIM	1.058
TESORITO	VIM	0
MERIELÉCTRICA	Guajira	1.6621
TERMOCENTRO	Cusiana/Cupiagua	2.5325
TERMOSIERRA	Cusiana/Cupiagua	2.2892
TERMOYOPAL	Cusiana/Cupiagua	0
TERMODORADA	Cusiana/Cupiagua	2.6593
TERMOVALLE	Cusiana/Cupiagua	4.6479
TERMOVALLE (desde 2024)	Buenaventura importado	1.340
TERMOEMCALI	Cusiana/Cupiagua	4.5085
TERMOEMCALI (desde 2024)	Buenaventura Importado	1.2

Fuente: UPME, (2022)

Con lo anterior para definir el costo del gas en las diferentes centrales se toma en cuenta el precio del gas y se le suma el valor de la tarifa de transporte desde la fuente de producción hasta la central eléctrica. con esto se obtiene el costo que pagaría la central de acuerdo con su ubicación respecto al yacimiento en USD/MBTU.

Ilustración 17 Proyección del precio del gas en la central termoeléctrica

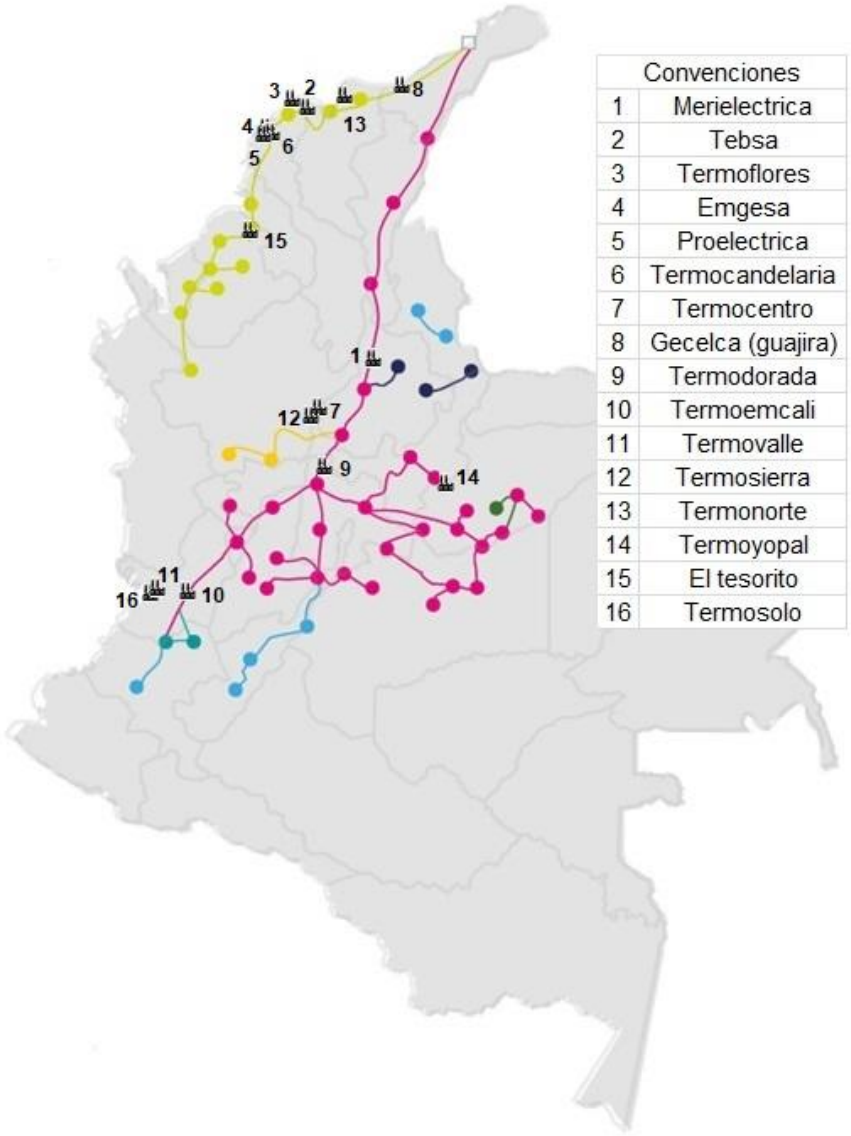


Fuente: UPME, (2022)

La red de gasoductos se presenta en la ilustración 18, en esta ilustración se evidencia la localización de las plantas que actualmente existen en el país. Para cada una de ellas como se indica en la Tabla 2 a mayor distancia de la localización de la planta respecto al yacimiento mayor será el costo del transporte, en caso de considerar la construcción de una planta muy alejada de la red de gas

se debe tener en cuenta como parte del proyecto gestionar la conexión con la red nacional para el abastecimiento del combustible.

Ilustración 18 Red de gasoductos y termoeléctricas a gas en Colombia

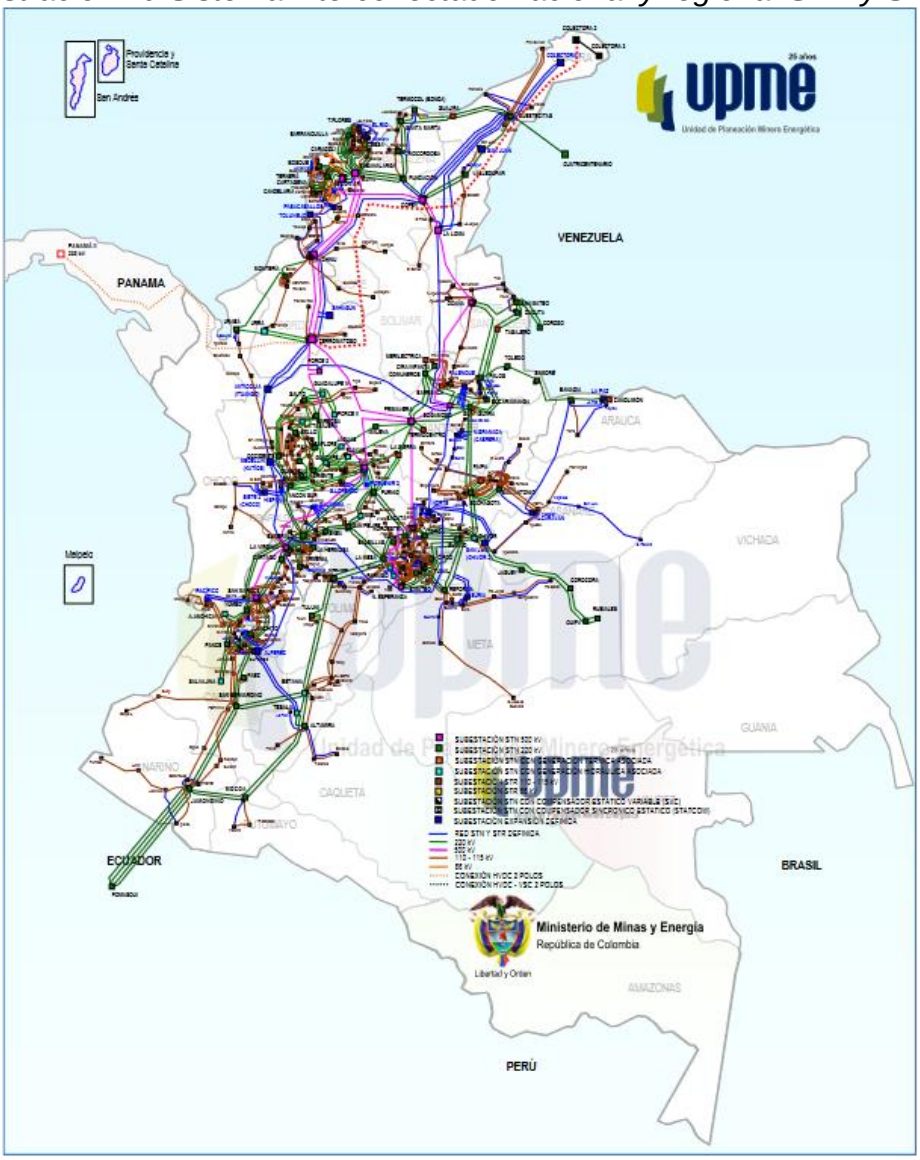


Fuente: Elaboración propia adaptado de Promigas, (2020) y UPME, (2022)

Así mismo se debe tener en cuenta la cercanía al sistema de transmisión nacional ya que es la conexión para poder distribuir la energía generada, si la planta se localizase a una gran distancia de esta, habría que tener en cuenta que tan grande es la longitud de las líneas de transmisión para poder conectarse y vender la energía.

La ilustración 19 presenta el estado actual del sistema interconectado nacional y regional STN y STR en el país, como se evidencia en las regiones de Orinoquia y Amazonas no están interconectadas en estas zonas no es viable, ni ambiental ni financieramente, la expansión para llevar el servicio de electricidad puesto que se presenta población vulnerable y de escasa capacidad de pago, así como zonas protegidas y de gran importancia ambiental [39].

Ilustración 19 Sistema interconectado nacional y regional STN y STR



Fuente: UPME, (2022)

Es importante aclarar que para la elección de la ubicación de una planta de generación de energía térmica a gas se debe tener en cuenta la cercanía tanto a

la Red de gasoductos y termoeléctricas a gas en Colombia como al sistema interconectado nacional y regional STN y STR. El costo del transporte desde el yacimiento y el costo del gas en el yacimiento que dará suministro a la instalación.

3.4 Mercado energético en Colombia

En Colombia, el mercado eléctrico es un mercado mayorista y competitivo diseñado para generar, transportar y distribuir energía eléctrica de manera eficiente y segura. creado por la reforma eléctrica en Colombia en 1994 [66].

En el mercado eléctrico colombiano se remunera la generación de energía de tres formas básicas: cargo por confiabilidad, bolsa de energía y contratos de largo plazo. A continuación, se describen las definiciones para estas tres modalidades.

- **En el cargo por confiabilidad,** este es un mecanismo utilizado para asegurarse de que exista la suficiente capacidad de generación en momentos de escasez y de alta demanda de energía eléctrica. Se remuneran aquellas plantas de generación de energía, por la disponibilidad de sus activos de generación y su capacidad de producir, todo esto cumpliendo los requisitos dispuestos en la normatividad vigente [67].

- **En la bolsa de energía,** se remunera la energía eléctrica generada al precio que esté determinado en el momento; es decir, este precio varía hora por hora, de acuerdo con la cantidad de energía eléctrica entregada por las plantas de generación [67]. De acuerdo con [66] actualmente el mercado eléctrico colombiano es operado por XM, el administrador del mercado de energía mayorista de Colombia.

  Para el año 2022 el precio promedio en bolsa alcanzó los 215,79 $/kWh y en el año 2021 fue de 150,07 $/kWh. Siendo los meses de febrero, octubre y diciembre los que presentaron picos en el precio de bolsa, estando por encima de los 300 $/kWh [68].

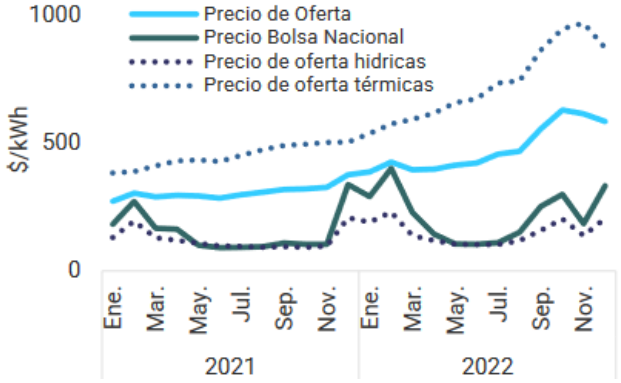
- **Los contratos de largo plazo,** son contratos bilaterales pactados directamente entre el generador de energía eléctrica (propietario o representante comercial de la planta) y el cliente que necesita la energía eléctrica [67].

  En cuanto a los contratos no regulados a largo plazo, la tarifa en el año 2022 en promedio fue de 259,48 $/kWh y en el año 2021 en promedio fue de 213,62 $/kWh [68].

Aclarando que los promedios mostrados anteriormente no superan los 300$/kWh de acuerdo con la ilustración 20 se evidencia que el precio promedio de la energía

térmica es superior que el precio promedio de la energía hídrica, de la bolsa nacional y de la oferta general del mercado, por ejemplo de acuerdo con Catalina, Castro, y Mojica, (2023) durante noviembre del 2022 el precio promedio para las térmicas fue de 966 $KWh mientras que para las hídricas fue de 137 $KWh.

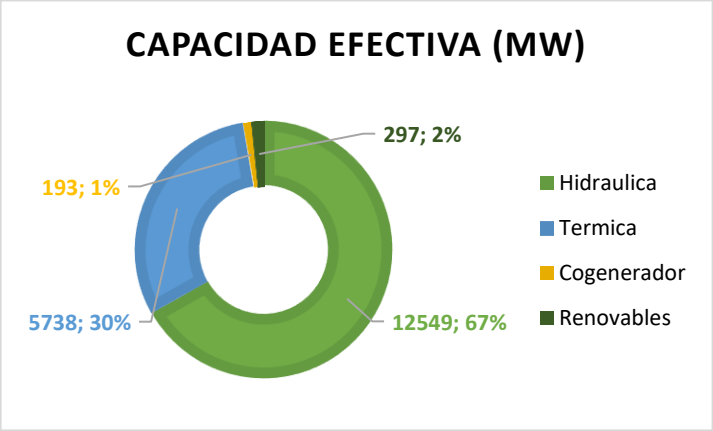
Ilustración 20 Precio de oferta vs precio de bolsa 2021-2022



Fuente: Tomado de A. Catalina, F. Castro, and J. L. Mojica

Lo anterior es porque cada país o región basa su canasta energética en los recursos naturales disponibles para la generación de energía eléctrica, lo que da lugar a que en cada región la tecnología utilizada varíe de acuerdo con sus propios recursos naturales [69]. Por ejemplo, como se muestra en la Ilustración 21 en Colombia hay una gran dependencia de la generación hidráulica esto debido a sus grandes recursos hídricos.

Ilustración 21 Capacidad efectiva neta (MW)-2023



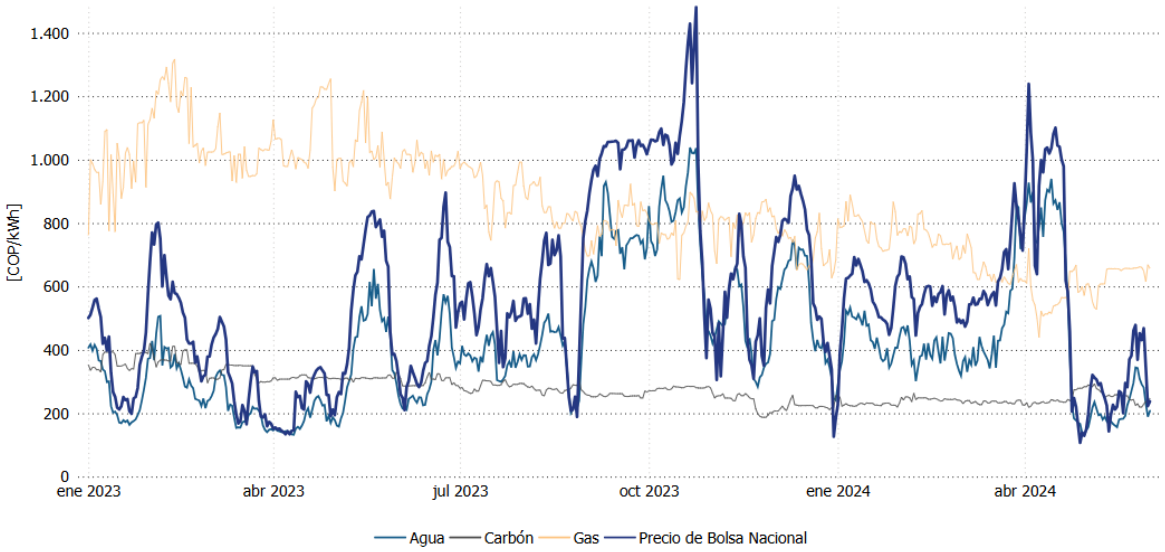
Fuente: Elaboración propia con base en XM [68]

Sin embargo, dado que el país por estar ubicado en el trópico no presenta estaciones climáticas como en otras partes del mundo, pero si es afectada por los fenómenos del niño (sequia) y de la niña (lluvias abundantes) es importante tener en cuenta que en las épocas de sequía como la ocasionadas por el fenómeno de

el niño, la matriz energética suele presentar déficit para cubrir la demanda nacional de energía eléctrica.

Esto implica buscar maneras de evitar el racionamiento y el aumento del costo unitario de la energía [69]. Es allí donde las plantas que funcionan mediante cargo por confiabilidad se activan para asegurar el suministro de energía eléctrica. Para ello la matriz energética en Colombia debe garantizar el uso de fuentes de generación de energía disponibles y alternas a la hidráulica. Como en este proyecto donde se está evaluando la generación térmica a gas.

Ilustración 22 Precio de oferta de tecnologías en el MEM colombiano



Fuente: Sinergox (XM)

La Ilustración 22 muestra un valor mayor con fluctuaciones en el precio de oferta de la tecnología a gas en comparación con otras fuentes, como el agua y el carbón. Aunque no es tan volátil como el precio de la electricidad en el mercado (Precio de Bolsa Nacional), sí presenta variaciones considerables a lo largo del tiempo. A pesar de su volatilidad, el gas puede ser más adecuado como fuente complementaria en lugar de principal, para ayudar a mitigar las fluctuaciones del precio de la electricidad resultante de depender mayoritariamente de fuentes hídricas.

3.5 FINANCIACIÓN

Estos proyectos pueden ser financiados por el sector público y el sector privado adicionalmente de acuerdo con Upme, (2013) El estado colombiano cuenta con fondos de apoyo financiero para la ampliación de la cobertura de los servicios públicos de energía y gas combustible. Cada fondo de apoyo financiero cuenta con su propia normatividad y es importante que todos los proyectos cumplan con la regulación vigente, los más relevantes para este caso son:

- FAER
  El Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas

- FAZNI
  El Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas no Interconectadas

Según Fedesarrollo los costos de inversión para el desarrollo de un proyecto de generación térmica a gas están asociados a su tipo de tecnología, la cual posee un precio en un rango internacional de este tipo de proyectos. El cual va desde los 1500 Millones de pesos por MW hasta los 5900 Millones por MW, así mismo indican que el precio de este tipo de proyectos en Colombia seria aproximadamente unos 3000 Millones de pesos por MW [39].

Se debe tener en cuenta que los valores de referencia son del año 2013 y estos se verán afectados por el precio actual del dólar, así como la inflación a lo largo de los últimos años

En la Tabla 3 se muestran 3 proyectos de generación térmica a gas desarrollados en Colombia, en ellos se puede evidenciar que el costo por MW ronda desde los 950 (USD) hasta los 1222(USD) para la tecnología a gas se debe resaltar que estos proyectos se construyeron con el objetivo de respaldar el sistema eléctrico y atender los requerimientos de energía en sus respectivas regiones durante las temporadas de pocas lluvias (fenómeno del niño) por lo que su operación es subsidiada mediante el cargo por confiabilidad.

Tabla 3 Inversiones en centrales térmicas a gas en Colombia

Nombre del proyecto	Tipo proyecto	Capacidad (MW)	Costo (USD)	Fuente
El tesorito	Nuevo	200	$190.000.000	[71]
Termoyopal	Expansión	40	$48.900.000	[72]
Termonorte	Nuevo	93	$100.000.000	[73]

Fuente Elaboración propia

3.6 Ejemplo teórico de la evaluación financiera para la inversión en la construcción de una central térmica a gas

En este apartado y con el fin de que el lector pueda darse una idea de cómo se podría realizar una evaluación financiera para la inversión en la construcción de una central térmica a gas, se realizara un ejemplo teórico con base en la información presentada en este proyecto de grado.

A continuación, se describirán los principales supuestos tenidos en cuenta para el ejercicio dado que en un contexto real habrá muchas otras variables que dependerán del contexto local de ubicación de la planta y las condiciones actuales de la legislación y la economía del país.

3.6.1 Supuestos del análisis

- Se tiene la aprobación de los entes reguladores Upme y Creg entre otros para la construcción y puesta en marcha del proyecto.

- El proyecto se construye en un año

- Al iniciar operación la planta ya estaría conectada con el STN o STR.

- La inversión incluye todo lo necesario para la puesta en marcha del proyecto, en otras palabras, lo relacionado con obras civiles, estudios técnicos, ambientales, sociales, organizacionales, de riesgo, así como la adquisición de los equipos y montajes tanto los afines con la casa de máquinas como con las subestaciones necesarias para el correcto funcionamiento del proyecto.

- Se estima que la planta se construye lo suficiente mente cerca de la fuente del gas para despreciar la construcción de gasoductos

- La vida útil del proyecto es de 20 años, no se toma valor de salvamento

- Es una central térmica de 200MW

- Se estima el precio de 1.082.000 USD/MW un promedio de los tres proyectos consultados anteriormente en la (Tabla 3) por lo cual una planta con capacidad de generar 200MW costaría alrededor de 216.400.000 USD

- Los costos operativos incluyen tanto salarios del personal como el costo del combustible y su respectivo trasporte, así como servicios públicos y demás gastos recurrentes.

- El proyecto utiliza tecnología que funciona en ciclo simple con una eficiencia del 45% operando con el ciclo Brayton

- El precio de la electricidad generada será 0.08 USD/KWh tomando como referencia de Ilustración 20 el precio promedio en bolsa de la energía eléctrica para el 2023 y el supuesto de haber aplicado y obtenido el beneficio de cargo por confiabilidad (15,1 USD/MWh) para efectos de este análisis los precios no variaran a lo largo de la vida útil del proyecto

- Se considera que en el cargo por confiabilidad cubre un 90% de la capacidad de generación [39]

- Se considera un factor de planta del 70% y que la planta opera de manera continua

- Según García et al., (2013) en el caso de los proyectos de geotermia la tasa de descuento supera el 5.5%. Si se usa una tasa de descuento del 12%, todos los proyectos, salvo los de filo de agua grandes, proyectos térmicos de gas y los proyectos de cogeneración, presentan un valor presente neto negativo. Con base en lo anterior se toma 12% como tasa de descuento para el ejemplo teórico.

3.6.2 Análisis

Para llevar a cabo este ejercicio se llevarán a cabo el cálculo del VPN y la TIR para ello como se evidencia en la
Tabla 5 durante el periodo cero se registra la inversión por que es la fase de construcción de la planta en este periodo no hay ganancias ni costos, solo inversión.

De los periodos 1 a 20 se estiman ingresos por conceptos de venta de energía, y cargo por confiabilidad a los cuales se les descuenta el costo de generación y operación de la planta.

Tabla 4 Datos iniciales (USD)

Costo de operación	$ 26.736.195	USD
Ingreso Cargo por confiabilidad	$ 25.126.929	USD
Ingreso de venta de energía	$ 44.150.400	USD
Total	$ 42.541.134	USD

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Flujo de caja (USD)

Con cargo por confiabilidad			
Proyección en el tiempo			Unidades
Inversión	0	-$ 216.400.000	USD
Inicio	1	$ 42.541.134	USD
	2	$ 42.541.134	USD
	3	$ 42.541.134	USD
	4	$ 42.541.134	USD
	5	$ 42.541.134	USD
	6	$ 42.541.134	USD
	7	$ 42.541.134	USD
	8	$ 42.541.134	USD
	9	$ 42.541.134	USD
	10	$ 42.541.134	USD
	11	$ 42.541.134	USD
	12	$ 42.541.134	USD
	13	$ 42.541.134	USD
	14	$ 42.541.134	USD
	15	$ 42.541.134	USD
	16	$ 42.541.134	USD
	17	$ 42.541.134	USD
	18	$ 42.541.134	USD
	19	$ 42.541.134	USD
Final	20	$ 42.541.134	USD

Sin cargo por confiabilidad			
Proyección en el tiempo			Unidades
Inversión	0	-$ 216.400.000	USD
Inicio	1	$ 17.414.205	USD
	2	$ 17.414.205	USD
	3	$ 17.414.205	USD
	4	$ 17.414.205	USD
	5	$ 17.414.205	USD
	6	$ 17.414.205	USD
	7	$ 17.414.205	USD
	8	$ 17.414.205	USD
	9	$ 17.414.205	USD
	10	$ 17.414.205	USD
	11	$ 17.414.205	USD
	12	$ 17.414.205	USD
	13	$ 17.414.205	USD
	14	$ 17.414.205	USD
	15	$ 17.414.205	USD
	16	$ 17.414.205	USD
	17	$ 17.414.205	USD
	18	$ 17.414.205	USD
	19	$ 17.414.205	USD
Final	20	$ 17.414.205	USD

Fuente: Elaboración propia

3.6.3 Resultado

Tabla 6 Indicadores de rentabilidad (USD)

Con cargo por confiabilidad		
Tasa Oportunidad	12%	Und
VPN	$ 317.758.602	USD
VPN	$ 101.358.602	USD
TIR	19,06%	

Sin cargo por confiabilidad		
Tasa Oportunidad	12%	Und
VPN	$ 130.074.426	USD
VPN	-$ 86.325.574	USD
TIR	5,03%	

Fuente: Elaboración propia

- Se observa que en el VPN con el cargo por confiabilidad fue positivo, lo cual indica que el proyecto es viable, esto significa que al final del horizonte de tiempo se obtendrá beneficio.
- Ya que la TIR con el cargo por confiabilidad supero la tasa de oportunidad se puede concluir que el proyecto es viable económicamente pues esto indica que el proyecto representara un beneficio mayor que la tasa de oportunidad.
- Sin el apoyo del cargo por confiabilidad el ejemplo muestra que la TIR es mucho menor que la tasa de oportunidad convirtiendo al proyecto en uno no viable.
- El funcionamiento en ciclo simple permite aumentar la capacidad de generación incorporando turbinas de vapor en la configuración de ciclo combinado permitiendo esto que la rentabilidad aumente.

Se aclara que en este ejemplo el proyecto es rentable gracias al respaldo que representa el incentivo del cargo por confiabilidad para las centrales eléctricas en Colombia.

Debido a que Colombia cuenta con abundantes recursos hídricos (numerosos ríos y cuencas hidrográficas), la generación hidráulica resulta ser una fuente de energía económica esto debido a que después de construir el proyecto los costos operativos suelen ser bajos. Por otro lado, las centrales térmicas suelen presentar precios más elevados en cuanto a la generación de energía pues en estos no solo se ven reflejados los costos operativos ya que adicionalmente se debe tener en cuenta el precio del combustible (Gas natural).

El cual, aunque Colombia cuenta con reservas de él, la producción nacional no siempre es suficiente para cubrir toda la demanda del país. Por lo tanto, Colombia ha tenido que recurrir a la importación del combustible [74] y esto expone a los cambios en los precios internacionales del gas natural y sobrecostos.

4 CONCLUSIONES

Las centrales térmicas son necesarias en Colombia como medio para diversificar la matriz energética en la cual predomina en un 67% la generación hidráulica dados los recursos hídricos del país, cuando estos se ven afectados durante los periodos de fenómeno del niño, en los cuales las fuentes de generación hidráulica no son suficientes para satisfacer la demanda nacional.

Este tipo de proyectos en Colombia (generación térmica a gas) por lo general no son económicamente favorables, pero son necesarios para garantizar la cobertura del servicio eléctrico en el país, por ello existe el beneficio de cargo por confiabilidad, el cual es un mecanismo para financiar la infraestructura eléctrica necesaria para garantizar la confiabilidad del sistema eléctrico principalmente en épocas de fenómeno del niño compensando los ingresos de las centrales de generación eléctrica permitiendo que estas estén listas para suministrar energía cuando se requiera.

Comparando los diferentes combustibles fósiles disponibles para el funcionamiento de una central térmica, el gas natural es el que menos contamina debido a que tiene una menor intensidad de carbono en comparación con el carbón o el petróleo y al quemarse, emite menos dióxido de carbono (CO2) por unidad de energía generada.

Las centrales térmicas a gas proporcionan un alto grado de confiabilidad ya que no dependen de factores climáticos para su funcionamiento lo que permite su funcionamiento en cualquier escenario y así proporcionando una fuente constante de energía. Esta es una característica valiosa en comparación con fuentes de energía renovable, como la solar o la eólica y la hidráulica que dependen de las condiciones climáticas para la generación de energía.

La versatilidad de las plantas térmicas se muestra en la utilización común del ciclo simple, ya que este implica una inversión baja y una construcción sencilla, Que además ofrece la oportunidad de integrar posteriormente un ciclo combinado, aprovechando el calor residual de la turbina de gas. permitiendo aumentar la cantidad de energía útil generada a partir del combustible fósil utilizado.

El ciclo combinado es una tecnología más eficiente y relativamente menos contaminante con el medio ambiente en comparación con el ciclo simple ya que se podría considerar una evolución de este y aunque tiene costos iniciales más altos, puede ofrecer más beneficios económicos y ambientales a largo plazo.

5 BIBLIOGRAFÍA

[1] G. Corredor, “Colombia y la transición energética,” *Cienc. Política*, vol. 13, no. 25, pp. 107–125, Jan. 2018, doi: 10.15446/cp.v12n25.70257.

[2] J. Carlos Bedoya, E. Ariel Rodas, and D. Felipe García, “Descripción de los Aspectos Comerciales del Esquema del Cargo por Confiabilidad en el Mercado Eléctrico Colombiano,” *Sci. Tech. Año XXI*, vol. 21, no. 1, pp. 5–14, 2016, [Online]. Available: https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/10171/8161.

[3] ENCICLONET, “Central de energía,” *www.enciclonet.com*, 2022. https://www.enciclonet.com/articulo/central-de-energia/ (accessed Aug. 13, 2022).

[4] E.T.S. de ingenieros industriales, *“Centrales eléctricas. El alternador.”* 2011.

[5] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, “Gas Natural y Medio Ambiente,” *El Gas Natural*, 2019. https://energia.gob.es/gas/Gas/Paginas/gasnatural.aspx (accessed Feb. 04, 2023).

[6] R.-A. Fernández-Inmaculada, “Centrales de Generacion de Energia Electrica,” *Open Curse Ware, Univ. Cantab.*, p. 116, 2013, [Online]. Available: http://ocw.unican.es/ensenanzas-tecnicas/centrales-de-generacion-de-energia-electrica/materiales/bloque-energia-III.pdf.

[7] Unesa, “Cómo funciona la energía hidroeléctrica - World Energy Trade,” 2019. https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/agua-y-vapor/como-funciona-la-energia-hidroelectrica (accessed Jun. 19, 2023).

[8] “Centrales nucleares | Energía y Minería | Junta de Castilla y León.” https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/centrales-nucleares.html (accessed Aug. 15, 2022).

[9] Erenovable, “¿Qué es la Energía nuclear? Ventajas y Desventajas - Erenovable.com,” 2022. https://erenovable.com/energia-nuclear/ (accessed Jun. 19, 2023).

[10] F. Ruiz Perales, “Comustibles fósiles como fuentes de energía,” 2010. http://recursostic.educacion.es/eda/web/eda2010/newton/materiales/ruiz_perales_francisco_p3/fuentes_fosiles.html (accessed Jun. 19, 2023).

[11] Unesa, “Oficina Local del Cambio Climático de SantanderEnergia de los Combustibles fosiles,” 2011. http://www.oficinacambioclimaticosantander.es/opencms/opencms/Energia.DeLosCombustiblesFosiles (accessed Jun. 19, 2023).

[12] BBVA, “¿Qué es el combustible fósil? La energía obtenida de la materia orgánica,” *Sostenibilidad y banca responsable-Energía Fósil*, Nov. 24, 2022. https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-combustible-fosil-la-energia-que-se-obtiene-de-la-materia-organica/ (accessed Feb. 04, 2023).

[13] E. y M. Ministerio de Industria, “¿Qué son los hidrocarburos?,” *Noticias*, Apr. 01, 2021. https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/comunicacion/noticias/son-hidrocarburos-0 (accessed Feb. 04, 2023).

[14] Asociación Colombiana del petroleo y gas, “Qué es el Gas Natural,” 2017. https://acp.com.co/web2017/es/todo-sobre-el-fracking/1066-que-es-el-gas-natural (accessed Feb. 04, 2023).
[15] A. Rivera, “Los combustibles fósiles: ‘son lo mismo, pero no son iguales’ | El Tiempo en Valencia,” *Noticia*, Jan. 20, 2012. http://eltiempo.lasprovincias.es/las-cosas-del-clima/los-combustibles-fosiles-son-mismo-pero-no-son-iguales?ref=http%3A%2F%2Feltiempo.lasprovincias.es%2F (accessed Feb. 04, 2023).
[16] Naturgas, “Datos curiosos sobre el gas natural,” *Blog*, Nov. 03, 2021. https://naturgas.com.co/datos-curiosos-sobre-el-gas-natural/ (accessed Feb. 04, 2023).
[17] Y. A. ÇENGEL and M. A. BOLES, *TERMODINÁMICA*. 2015.
[18] Solar Turbines, “Turbinas de gas,” 2021. https://www.solarturbines.com/es_MX/products/gas-turbines.html (accessed Feb. 05, 2023).
[19] Energyeducation, “Turbina - Enciclopedia de Energia,” 2015. https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/Turbina (accessed Jun. 19, 2023).
[20] Aguamarket, “Compresores de Aire,” *Definicion*, 2010. https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=1150 (accessed Feb. 04, 2023).
[21] Kimerius, “Cámaras de combustión de turbinas de gas,” pp. 93–110.
[22] Fundación endesa, “El generador eléctrico,” *Educacion*, 2023. https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/generador-electrico (accessed Feb. 05, 2023).
[23] Edoarado, “Alternador.svg,” 2010. https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Alternador.svg (accessed Jun. 19, 2023).
[24] Fundación endesa, “El transformador eléctrico,” *Educacion*, 2023. https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/corrientes-alternas-con-un-transformador-electrico (accessed Feb. 05, 2023).
[25] P. A. Tipler and M. Gene, *Física para la ciencia y la tecnología, Volumen 2*. .
[26] Molina, “Introduccion a las redes inteligentes,” *Curso*, 2021. .
[27] J. A. Manrique and R. S. Cárdenas, *termodinámica*. 1976.
[28] Y. S. H. Najjar and M. Akyurt, “Combined cycles with gas turbine engines,” *Heat Recover. Syst. CHP*, vol. 14, no. 2, pp. 93–103, 1994, doi: 10.1016/0890-4332(94)90001-9.
[29] H. Francisco, “Centrales De Generacion Y,” pp. 1–288, 2015.
[30] S. Moreno Sanz and F. Vega Borrero, “Estudio de sistemas de captura de CO2 y métodos de concentración de CO2 en corrientes gaseosas aplicados a ciclos combinados,” 2019, [Online]. Available: https://idus.us.es/handle/11441/100929.
[31] G. Mira, “Diseño de central Termica de ciclo convencional,” p. 337, 2015.

[32] M. del C. Gómez-Ríos and D. Juárez-Luna, “Costo de generación eléctrica incorporando externalidades ambientales: Mezcla óptima de tecnologías de carga base,” *Rev. Mex. Econ. y Finanz.*, vol. 14, no. 3, pp. 353–377, 2019, doi: 10.21919/remef.v14i3.308.
[33] PMBOK® Guide, “PMBOK Guide | Project Management Institute,” 2021. https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/pmbok?sc_camp=D750AAC10C2F4378CE6D51F8D987F49D (accessed Jun. 08, 2023).
[34] Shelley Pursell, “Qué es un estudio de mercado, cómo hacerlo y ejemplos,” Jan. 2022. https://blog.hubspot.es/marketing/estudio-de-mercado (accessed May 24, 2023).
[35] Gabriel Baca Urbina, *Evaluación de proyectos*. 2010.
[36] A. Diana and M. Puerto, *Formulación y Evaluación de Proyectos*. .
[37] N. Sapag Chain, *Preparación y evaluación de proyectos*. 2008.
[38] COES, “FACTOR DE PLANTA,” 2002. http://www.coes.org.pe/DataWeb2/2002/dtr/estadistica/anual/Sumario/ProduccionElectricidad/FactPlanta.htm (accessed Feb. 03, 2023).
[39] H. García, A. Corredor, L. Calderón, and M. Gómez, “Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia,” 2013.
[40] Javier Sánchez Galán, “Capacidad instalada,” Aug. 30, 2020. https://economipedia.com/definiciones/capacidad-instalada.html (accessed Feb. 02, 2023).
[41] NacionesUnidas, “MANUAL DE PROYECTOS DE DESARROLLO ECONOMICO NACIONES UNIDAS,” 1958.
[42] “Capítulo 2. LA ENERGÍA ELÉCTRICA, GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO,” Accessed: Mar. 07, 2022. [Online]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Energía_eléctrica.
[43] J. A. M. Castro and A. M. Castro, *PROYECTOS DE INVERSIÓN EVALUACIÓN Y FORMULACIÓN*, vol. 11, no. 1. 2009.
[44] Anna Pérez, “Estudio financiero: en qué consiste y cómo llevarlo a cabo | OBS Business School,” 2021. https://www.obsbusiness.school/blog/estudio-financiero-en-que-consiste-y-como-llevarlo-cabo (accessed Jun. 08, 2023).
[45] Alexandra Ortiz, “Capex y Opex: Entendiendo las Necesidades y Gastos de tu Empresa,” Oct. 16, 2022. https://www.dripcapital.com/es-mx/recursos/finanzas-guias/capex-opex-gastos-de-tu-empresa (accessed Feb. 02, 2023).
[46] “¿Qué es Capex? | Significado, Ejemplos y Cómo se Calcula.” https://www.dripcapital.com/es-mx/recursos/finanzas-guias/que-es-capex (accessed Oct. 01, 2024).
[47] “Descubra las Diferencias Entre CAPEX y OPEX - MyABCM.” https://myabcm.com/es/descubra-las-diferencias-entre-capex-y-opex/ (accessed Oct. 01, 2024).
[48] Conexión Esan, “Costos de inversión y de operación en la formulación de un proyecto | Conexión ESAN,” *Articulo*, Jun. 28, 2016. https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/costos-de-inversion-y-de-operacion-

en-la-formulacion-de-un-proyecto (accessed Feb. 06, 2023).
[49] CNE, “INFORME DE COSTOS DE TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN,” 2023. .
[50] Agroproyectos, “Activo Fijo, Diferido y Capital de Trabajo,” Aug. 20, 2013. https://agroproyectos.org/activo-fijo-diferido-y-capital-de-trabajo/ (accessed Feb. 02, 2023).
[51] A. Zugarramurdi, M. Parín, and H. Lupin, “Ingeniería Económica Aplicada a la Industria Pesquera,” *Ing. Económica Apl. a la Ind. Pesq.*, p. 34, 1998, Accessed: Jun. 07, 2023. [Online]. Available: http://www.fao.org/3/v8490s/v8490s00.htm#Contents.
[52] EUROINNOVA, “EL COSTO CAPITAL.” https://www.euroinnova.co/blog/que-es-el-costo-capital (accessed Feb. 02, 2023).
[53] M. M. Virreira Avila and D. DE Proyectos Inversión, “EVALUACIÓN FINANCIERA Métodos y aplicaciones.”
[54] Software DELSOL, “Análisis de sensibilidad.” https://www.sdelsol.com/glosario/analisis-de-sensibilidad/ (accessed Feb. 03, 2023).
[55] ESAN, “Análisis de sensibilidad.” https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/analisis-de-sensibilidad-que-es-y-cual-es-su-importancia-en-un-proyecto (accessed Feb. 03, 2023).
[56] A. Castillo-Ramírez, D. Mejía-Giraldo, and J. D. Giraldo-Ocampo, “Geospatial levelized cost of energy in Colombia: GeoLCOE,” *2015 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Lat. Am. ISGT LATAM 2015*, pp. 298–303, 2016, doi: 10.1109/ISGT-LA.2015.7381171.
[57] “COSTOS NIVELADOS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN COLOMBIA.” https://lcoev2.upme.gov.co/# (accessed Oct. 04, 2024).
[58] “LCOE del gas con y sin CCUS para distintos precios del carbono – Gráficos – Datos y estadísticas – AIE.” https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/lcoe-for-gas-with-and-without-ccus-for-various-carbon-prices (accessed Nov. 27, 2024).
[59] CREG, “Resolucion 030 de 2018,” 2018. .
[60] CREG, “Resolución 114 de 2007 ,” 2007. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0114_2007.htm (accessed Jun. 12, 2023).
[61] Alcaldía bogota, “RESOLUCION 1202-2018,” 2018. .
[62] Minas y Energía, “Decreto 1073 de 2015 ,” 2015. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77887 (accessed Jun. 12, 2023).
[63] CREG, “Resolución 101 062 de 2024,” 2024. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_101_062_2024.htm (accessed Dic. 12, 2024).
[64] UPME, “PROYECCIÓN DE PRECIOS DE LOS ENERGÉTICOS EN FUENTE DE PRODUCCIÓN Y EN PLANTAS DE GENERACIÓN ENERO 2022 – DICIEMBRE 2037 ,” 2022. Accessed: Jun. 12, 2023. [Online].

Available: www.upme.gov.co.
[65] Promigas, “Red de transporte de gas natural Colombia 2020,” 2020. https://www.promigas.com/informeSector2020/Paginas/Transporte-gasCol.aspx (accessed Jun. 12, 2023).
[66] CREG, “Cómo funciona el mercado eléctrico de Colombia | CREG,” 2011. https://www.creg.gov.co/node/8206 (accessed Jun. 12, 2023).
[67] juan P. Botero Duque, john j. García, and H. Velásquez, “Cuadernos de economia 68,” 2016, doi: 10.15446/cuad.econ.v35n68.52732.
[68] A. Catalina, F. Castro, and J. L. Mojica, “Informe Perspectiva Sectorial-Energía Actualidad del sector energético colombiano 28 de febrero de 2023,” 2023.
[69] M. del C. Quintero Quintero and F. Isaza Cuervo, “DEPENDENCIA HIDROLÓGICA Y REGULATORIA EN LA FORMACIÓN DE PRECIO DE LA ENERGÍA EN UN SISTEMA HIDRODOMINADO: CASO SISTEMA ELÉCTRICO COLOMBIANO,” vol. 12, no. 22, pp. 85–96, 2013.
[70] Upme, “Guía metodológica para la estructuración y presentación de proyectos que buscan acceder a los diferentes fondos de apoyo financiero de los sectores de energía y gas,” 2013, Accessed: Jun. 08, 2023. [Online]. Available: www.upme.gov.co.
[71] Celsia, “proyecto termoeléctrico El Tesorito - BNamericas,” 2022. https://www.bnamericas.com/es/noticias/celsia-avanza-con-proyecto-termoelectrico-el-tesorito (accessed Jun. 13, 2023).
[72] Y. Izalla, “LexLatin | Termoyopal solicita crédito para ampliar generación eléctrica en Colombia,” 2019. https://lexlatin.com/noticias/termoyopal-solicita-credito-para-ampliar-generacion-electrica-en-colombia (accessed Jun. 13, 2023).
[73] Portafolio, “Termonorte espanta fantasma de apagón en la costa Caribe | Empresas | Negocios | Portafolio,” 2018. https://www.portafolio.co/negocios/empresas/termonorte-espanta-fantasma-de-apagon-en-la-costa-caribe-524437 (accessed Jun. 13, 2023).
[74] Portafolio, “¿Por qué Colombia está importando gas natural?,” 2021. https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/colombia-esta-importando-gas-natural-las-razones-556556.