

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTOR		
Ejecutor		
Nombre (s):	OVER STIB	
Apellido (s):	CASTELVI MELO	
Código:	20111275006	
E-mail:	ingmecanicaover@yahoo.es	
Teléfono fijo:	-----	
Celular:	313 4 31 57 67	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	DISEÑO DE UNA CALDERA DE RECUPERACIÓN DE CALOR PARA GENERAR 500 Kg/h DE VAPOR	
Duración (estimada):	3 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Proyecto	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Optimización de procesos industriales	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Conversión de energías y mecánica de fluidos	
Grupo de Investigación:	GIEAUD – Semillero SEA	
Proyecto de Investigación:	Ninguno	
Áreas del conocimiento que involucra:	Termodinámica, Transferencia de Calor, Mecánica de Fluidos, Resistencia de Materiales.	
INFORMACIÓN PASANTÍA		
Nombre de la empresa:		
Dirección:		
Teléfonos:	(571)	
Correo electrónico:		
Página Web:		
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)	Ing. Hernando Vélez	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)		
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	Ing. Hernando Vélez	

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
RESUMEN.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1 CONTEXTO NACIONAL.....	9
1.2 CONTEXTO LOCAL	11
1.3 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN PROBLEMA	13
1.3.1 Problema del proyecto de grado	16
2 ESTADO DEL ARTE PARA DISEÑO DE CALDERAS DE RECUPERACIÓN DE CALOR CON GASES DE COMBUSTIÓN	19
2.1 Diseño de una caldera con recuperación de calor HRSG (Heat Recovery Steam Generator) en un ciclo combinado para la refinería de EP Petroecuador 20	
2.2 Diseño de un sistema de recuperación de calor para aprovechar la disponibilidad de los gases de combustión de los motores Mitsubishi MAN-18V40/54	21
2.3 Diseño de un recuperador de calor para aprovechar la disponibilidad de los gases de combustión y calentar el colchón de agua del tanque de lavado de petróleo	21
2.4 Estudio de Factibilidad para la Recuperación de Calor Residual de Turbinas a Diesel en la Generación de Energía Eléctrica en la Empresa RESOL YPF 22	
2.5 Diseño y construcción de un intercambiador de calor directo para horno cubilote	22
2.6 Aspectos Técnico Económicos para Evaluación de Proyectos de Cogeneración en base a grupos Generadores Diesel	23
2.7 Recuperación de calor de proceso	23

2.8	Modelado Energético de Motores de Combustión Interna para Aplicaciones de Cogeneración	24
2.9	Nuevos Elementos para el Estudio de la Cogeneración en Colombia	24
3	JUSTIFICACIÓN	25
4	OBJETIVOS	26
4.1	OBJETIVO GENERAL	26
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
5	MARCO TEÓRICO.....	27
5.1	TRANSFERENCIA DE CALOR	27
5.1.1	Conducción	27
5.1.2	Convección	27
5.1.3	Radiación	27
5.1.4	Sistema de transferencia de calor	28
5.2	INTERCAMBIADORES DE CALOR	28
5.2.1	Intercambiadores de tubo y coraza	29
5.2.2	Intercambiadores de placas	29
5.3	CALDERAS	31
5.3.1	Calderas Prirotubulares.....	31
5.3.2	Calderas Acuo-tubulares.....	31
5.3.3	Agua en las calderas.....	32
6	METODOLOGÍA.....	34
6.1	FASE DE DOCUMENTACIÓN	34
6.2	FASE DESARROLLO DE INGENIERÍA CONCEPTUAL.....	34
6.3	FASE DESARROLLO DE INGENIERÍA BÁSICA	34
6.4	FASE DESARROLLO DE INGENIERÍA DE DETALLE.....	34

6.5	FASE ELABORACIÓN DE DOCUMENTO FINAL	35
7	CRONOGRAMA.....	36
8	PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN.....	37
9	BIBLIOGRAFÍA	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proyección de la demanda energética en Colombia.....	9
Figura 2. Motor Alternativo de Combustión Interna.....	12
Figura 3. Salida de Gases de Combustión del Motor.....	14
Figura 4. Comportamiento Flujo Másico Gases de Combustión.....	15
Figura 5. Temperatura Salida Gases de Combustión.	15
Figura 6. Caldera Típica	16
Figura 7. Sistema de recuperación de gases.....	17
Figura 8. Esquema funcionamiento diverter	18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad Motores WARTSILA de la serie 20	13
Tabla 2. Cronograma de actividades	36
Tabla 3. Recurso material	37
Tabla 4. Recurso humano.....	37
Tabla 5. Presupuesto general del proyecto	37

RESUMEN

El documento es una propuesta de proyecto de grado (anteproyecto) realizado con el fin de optar al título de Ingeniero Mecánico, mediante el desarrollo se describe la necesidad de diseñar una caldera de recuperación de calor producto de los gases de combustión de un motor Diesel marca Wartsila referencia 9L20 para cubrir una demanda de 500 kg/h de vapor. Para entrar en contexto se indago a nivel nacional la demanda energética en Colombia y a su vez se mostró que el proyecto de grado cumple un papel importante en él.

En el contexto local se hace una breve descripción de la empresa Genser Power Colombia, la cual se dedica a la producción de energía eléctrica y es una de las empresas que trabaja con el motor mencionado anteriormente. Posteriormente se realiza el diagnóstico y planteamiento del problema, y se comienza a indagar realizando un estado del arte.

Se expone una justificación para el desarrollo del proyecto y se proyecta como objetivo general diseñar una caldera de recuperación de calor aprovechando la disponibilidad de los gases de combustión en un Motor marca Wartsila referencia 9L20, para generar 500 kg/h de vapor.

Después se elabora un marco teórico donde se centra la información en los principios que tienen que ver directamente con el desarrollo del proyecto. Luego se traza la siguiente metodología para alcanzar la realización del proyecto: Fase de documentación, la cual consiste básicamente en recopilar toda la información disponible referente al tema de la investigación; posteriormente se pasa a la fase de diseño: donde se obtiene la solución detallada al problema con las respectivas especificaciones técnicas.

Finalmente se establece un cronograma y un presupuesto para la ejecución del proyecto.

INTRODUCCIÓN

El uso adecuado de la energía es un tema que día a día toma mayor relevancia, ya sea por la parte económica o ambiental. Es aquí donde el interés de aprovechar el calor generado en el proceso de combustión de los motores en un sistema de generación eléctrica, ha llevado al desarrollo de la Cogeneración.

El documento presenta el interés y la importancia de realizar un proyecto de grado dirigido a diseñar una caldera de recuperación de calor aprovechando la disponibilidad de los gases de combustión en un Motor marca Wartsila referencia 9L20, para generar 500 kg/h de vapor.

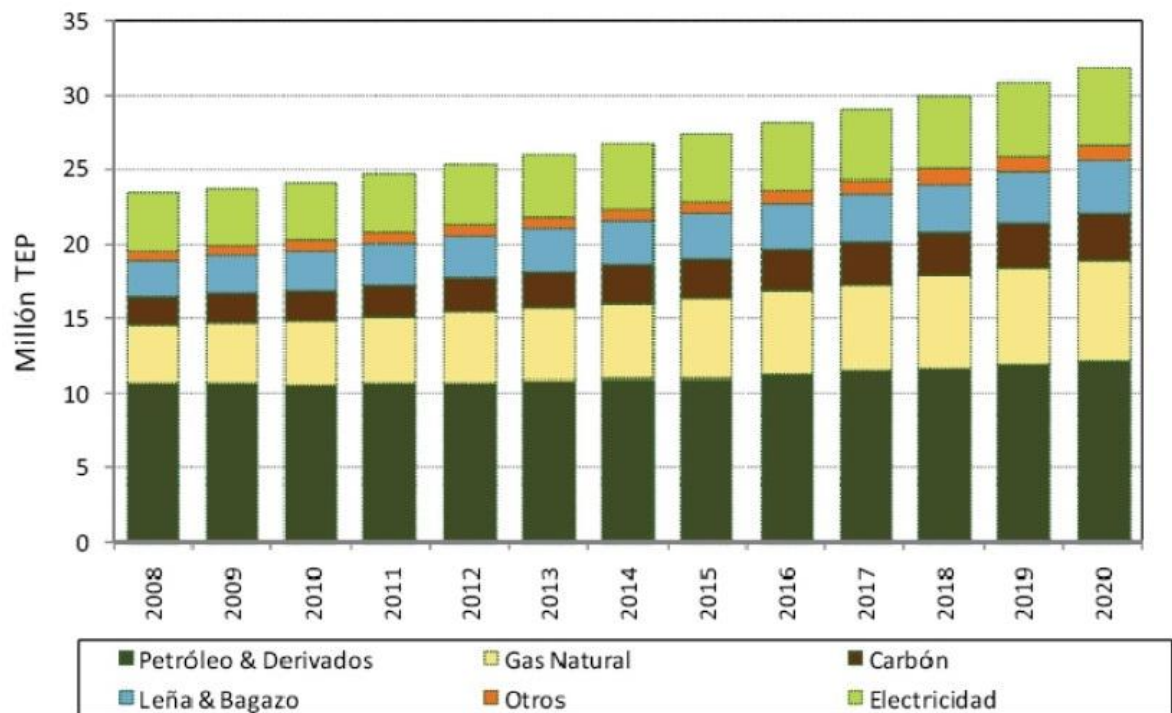
Con el diseño de la caldera de recuperación se pone en evidencia el uso de un tipo de energía considerada como residual en un proceso de combustión, en energía térmica útil. Con esta energía se puede obtener vapor de agua que en la mayoría de proyectos se hace necesario su uso para diferentes tareas de limpieza e intercambio de calor.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 CONTEXTO NACIONAL

El crecimiento de la industria en el país, sin duda ha incrementado la demanda energética y seguirá aumentando según el Ministerio de Minas y Energía con estudios de la UPME¹.

Figura 1. Proyección de la demanda energética en Colombia



Fuente: UPME. Unidad de Planeación Minero Energética

La figura 1 muestra las proyecciones de la demanda final de energía, con una tasa de crecimiento media anual esperada de 2.6% en un lapso de 12 años. Los derivados del petróleo continúan siendo los mayores contribuyentes a la estructura de consumo con un aumento de 8 millones de toneladas equivalentes de petróleo

¹ UPME. Unidad de Planeación Minero Energética

(TEP) entre 2008-2020, aunque pierden participación relativa al final del año 2020. El gas natural con una tasa de crecimiento de 4.6% alcanzará una participación de 21.1% en el total de la canasta energética colombiana, seguido de la electricidad cuya contribución estimada llegará al 16.8% en el 2020.

Acompañado a este crecimiento de demanda energética, está la necesidad del aumento de la disposición de esta. Debido a que se requiere que este desarrollo sea eficiente, productivo y además se constituya en factores de sostenibilidad ambiental, energética y social; en el país surge un marco regulatorio desde el 2001 con la *Ley 697*, y posterior a esta ley el *Decreto 3683 de 2003 en las que a rasgos generales se promueve el uso racional de la energía*.

En los lineamientos estratégicos promovidos por estas regulaciones, se establece identificar y diseñar mecanismos que contribuyan a la competitividad de las fuentes no convencionales de energía en el ámbito del suministro de la energía eléctrica e incentivar la adopción de la generación con nuevas tecnologías y fuentes renovables, incluso a través de sistemas de *cogeneración*².

Con respecto al tema de inversión del estado, en el informe final del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales -PROURE- en el plan de acción 2010-2015, del Ministerio de Minas y Energía, se estima una inversión al tema de cogeneración y autogeneración por parte del fondo de apoyo del PROURE del orden de los US\$ 15 millones, que incluye capacitación, investigación aplicada, desarrollo de normatividad y renovación tecnológica en algunas industrias.

A lo concerniente en la capacidad, en 1997 la UPME realizó un estudio para el desarrollo de una metodología de estimación del potencial de cogeneración en

² "Con la Cogeneración se propone aprovechar la energía térmica sobrante del proceso de la generación de energía eléctrica, ocasionando con ello una mejor utilización de los recursos energéticos y en consecuencia mejorando notablemente la eficiencia de los procesos productivos de la industria." Definición del informe final del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales -PROURE- Plan de acción 2010-2015. Ministerio de Minas y Energía.

Colombia. Con base en esta metodología y la realización de encuestas se determinó un potencial de cogeneración de 423 MW para todo el país.

Para finalizar el contexto nacional, según la ANDI³, en el comité energético reunido en sus instalaciones el 29 de Abril del 2010, para desarrollar el tema: “Nuevo Marco Regulatorio para los sistemas de cogeneración” a cargo de David López, Gerente de soluciones energéticas, se concluyó que se requieren incentivos al desarrollo de proyectos de cogeneración en Colombia para mejorar la posición de nuestros productos y servicios, y de esta manera se fortalecerá nuestra economía.

1.2 CONTEXTO LOCAL

Genser Power Colombia, empresa con sede principal en la ciudad de Bogotá D.C., del sector energético, dedicada a la producción de energía eléctrica de manera independiente, conocida como generación distribuida (con una meta al 2017 de 500 MW instaladas). Para esto utiliza soluciones eficientes y ambientalmente amigables que responden a las necesidades específicas de cada uno de los clientes.

La compañía realiza estudios de ingeniería en los que busca la solución de generación de energía de la manera más innovadora y confiable; con mayor calidad de energía, con alta disponibilidad, aprovechamiento de los recursos y con disminución de los riesgos por cortes del fluido eléctrico. Para esto utiliza diferentes tipos de combustible, dependiendo de la disponibilidad en la zona y de la actividad económica como la del sector industrial, del sector petrolero y del sector minero. Los equipos más utilizados por la compañía para la producción de la energía eléctrica son los motores alternativos de combustión interna y las turbinas a gas.

³ ANDI. Asociación Nacional de Empresarios de Colombia.

Figura 2. Motor Alternativo de Combustión Interna



Fuente: WARTSILA. www.wartsila.com

Bajo este escenario en una publicación de la Revista Dinero el 21 de Septiembre del 2010, la compañía es destacada por la manera exitosa de sus operaciones bajo dos esquemas muy específicos de negocios: uno donde el cliente es quien efectúa la inversión pero la empresa generadora de energía desarrolla y lleva a feliz término todo el proyecto como tal, y dos, la venta de energía que funciona por medio de la implementación del modelo de outsourcing⁴.

La compañía en su constante crecimiento se interesa en temas con respecto al aumento de la eficiencia energética y a la mitigación de los impactos ambientales, es por ello que la implementación de cogeneración es un tema que presta gran interés.

⁴ El outsourcing consiste en que una empresa contrata, a una agencia o firma externa especializada, para hacer algo en lo que no se especializa.

1.3 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN PROBLEMA

Para la generación de energía, uno de los equipos típicos que la compañía aplica es el motor alternativo de combustión interna; el cual es un motor térmico en el que los gases producto de un proceso de combustión empujan un émbolo o pistón que se desplaza en el interior de un cilindro haciendo girar un cigüeñal y de esta manera obtener un movimiento de rotación. Esta energía mecánica (rotación) es transferida a otro equipo llamado generador el cual es el encargado de transformar la energía mecánica producida por el motor en energía eléctrica.

Este tipo de motor se puede clasificar en función de diferentes aspectos; en función del encendido, se distinguen el motor Otto o de encendido provocado, en el que la combustión se inicia por una chispa. Por otro lado el motor Diesel o de encendido por compresión, de rendimiento superior por aprovechar mejor el combustible.

En función del ciclo, el motor puede funcionar en cuatro (cuatro carreras del émbolo, y dos vueltas del cigüeñal) o dos (dos carreras del émbolo, y una vuelta del cigüeñal) ciclos.

Actualmente la compañía adquirió para sus proyectos, Motores Diesel de cuatro tiempos marca Wartsila referencia 9L20 a 900 revoluciones por minuto, con las siguientes características principales las cuales se encuentran resaltadas en la tabla 1.

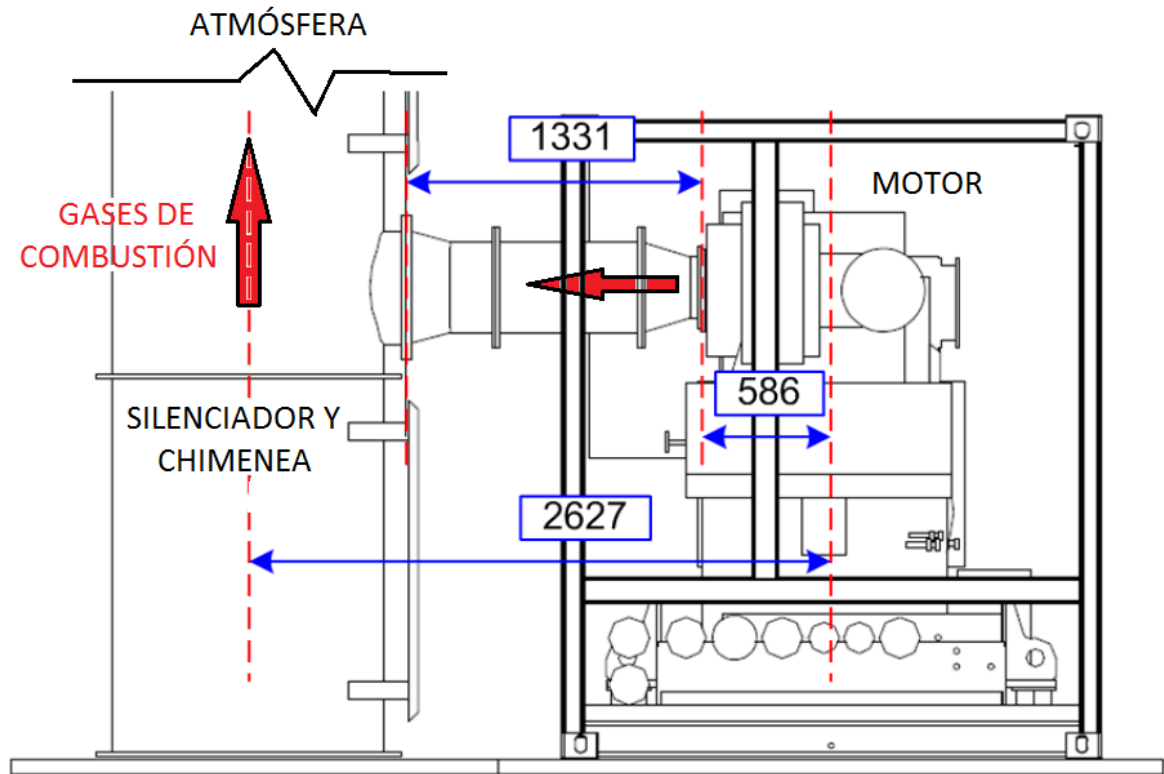
Tabla 1. Capacidad Motores WARTSILA de la serie 20

Cylinder configuration	Main engines		Generating sets			
	1000 rpm		900 rpm / 60 Hz		1000 rpm / 50 Hz	
	kW	bhp	Engine [kW]	Generator [kVA]	Engine [kW]	Generator [kVA]
W 4L20	800	1080	740	880	800	950
W 6L20	1200	1630	1110	1320	1200	1420
W 8L20	1600	2170	1480	1760	1600	1900
W 9L20	1800	2440	1665	1980	1800	2140

Fuente: WARTSILA. Wartsila 20 Product Guide, Pag. 1

Para los proyectos que se realizan con este motor, la compañía tiene la siguiente configuración en el diseño de la salida de los gases de combustión.

Figura 3. Salida de Gases de Combustión del Motor



Fuente: Genser Power. Site Works and Installation Guide

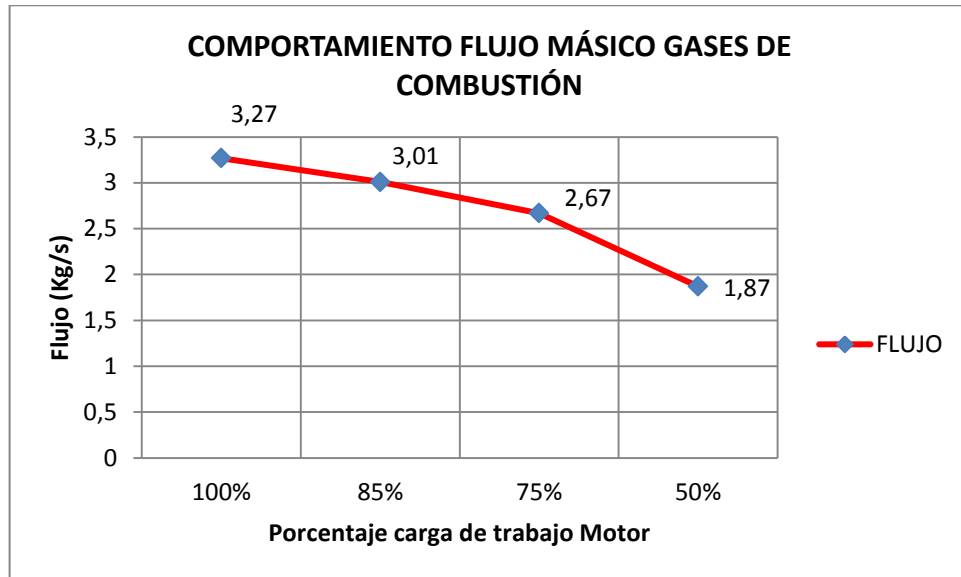
Con esta configuración los gases de la combustión (todavía con energía) se expulsan a la atmósfera, desaprovechándose de esta forma una fuente de energía térmica útil.

Por otro lado, en el sitio se hace necesario cubrir una demanda de vapor de agua de 500 kg/h a una presión de 1 Mpa que se hace necesario para tareas de intercambio de calor.

Para la obtención de vapor se realiza mediante un generador que habitualmente suele ser una caldera que emplea combustible químico para producir una temperatura suficiente como para elevar la entalpía del agua con la que se alimenta hasta el valor requerido por el sistema. El agua entra en la caldera en forma de líquido subenfriado o saturado y sale de la misma en forma de vapor saturado o recalentado.

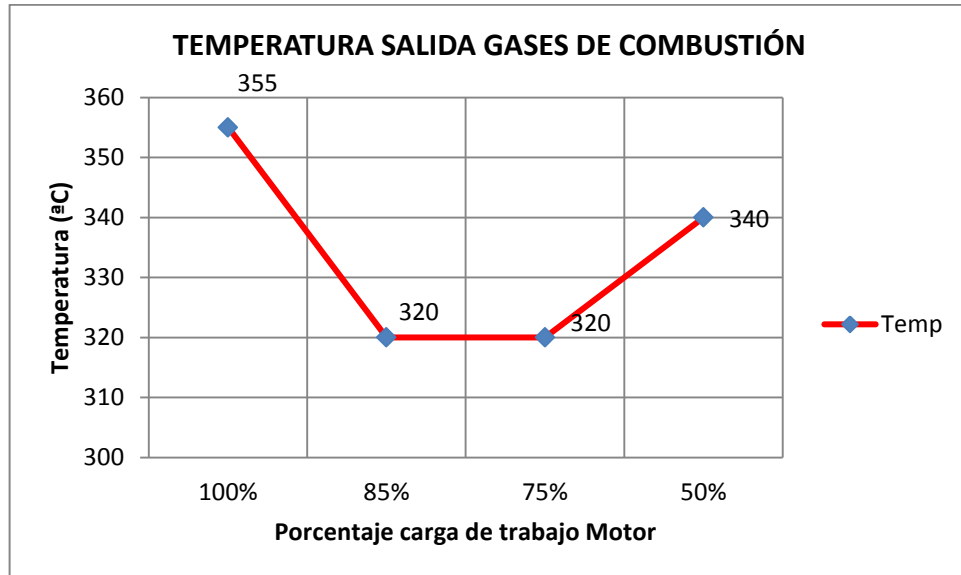
El flujo másico y la temperatura de los gases de combustión a la salida del motor se dan a continuación:

Figura 4. Comportamiento Flujo Másico Gases de Combustión



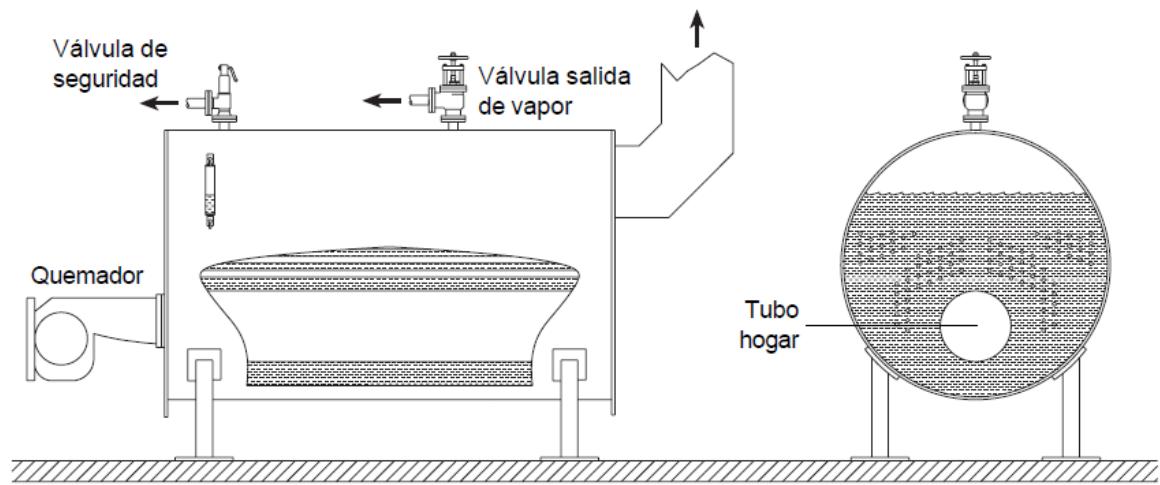
Fuente: WARTSILA. Wartsila 20 Product Guide, Pag. 16

Figura 5. Temperatura Salida Gases de Combustión.



Fuente: WARTSILA. Wartsila 20 Product Guide, Pag. 16

Figura 6. Caldera Típica



Fuente: Spirax Sarco. Guía de referencia técnica

Con este panorama surgen dos aspectos importantes:

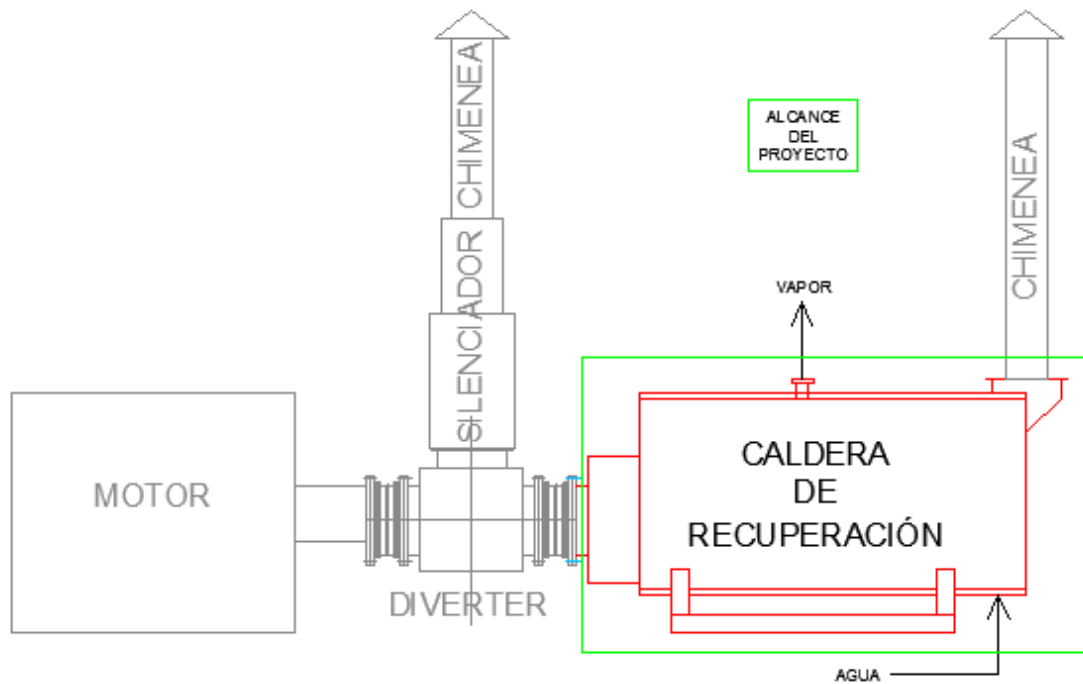
- La energía térmica residual de los gases de combustión del motor, la cual se está desechando a la atmósfera y por lo tanto no se está aprovechando.
- La demanda en el sitio de 500 kg/h vapor de agua saturado a una presión de 1 Mpa para tareas de intercambio de calor.

Entonces se encuentra la necesidad de realizar un diseño en el cual se utilice los gases de combustión del motor para la generación de vapor de agua saturado, ahorrando de esta manera el combustible (diesel) utilizado en una caldera convencional. El desarrollo del proyecto es de suma importancia, ya que se utiliza una energía térmica residual para suplir una necesidad.

1.3.1 Problema del proyecto de grado

Tomando entonces la decisión de recuperar los gases de combustión para diseñar una caldera de recuperación de calor aprovechando la disponibilidad de los gases de combustión en un Motor Diesel, y de esta manera cubrir una demanda de generación de 500 kg/h de vapor, se decide realizar el siguiente montaje para tal fin.

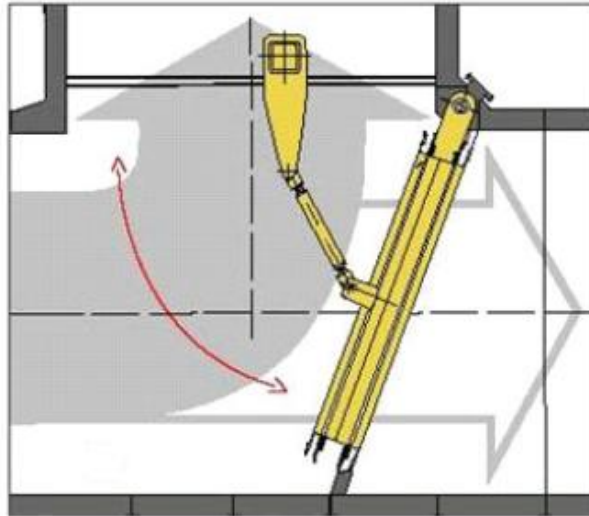
Figura 7. Sistema de recuperación de gases



Fuente: Propia

Los gases se llevan al diverter (Figura 8.), el cual es un desviador de gases o para entender mejor es una válvula la cual deja pasar los gases hacia la caldera o en su lugar los dirige al silenciador para luego sacarlos por la chimenea de este. Esto es con el fin de dar la opción de realizar mantenimiento a la caldera cuando se requiere o simplemente si no se requiere ponerla en marcha (cuando se quiera suspenderla). Después que los gases pasan por la caldera se dirigen a la chimenea de esta.

Figura 8. Esquema funcionamiento diverter



Fuente: Whualco

En este diagnóstico se manifiesta la necesidad de ejecución del proyecto de grado y se determina a grandes rasgos el alcance de este. Entonces se establece que el proyecto de grado es: realizar el ***diseño de una caldera de recuperación de calor para generar 500 kg/h de vapor.***

Las empresas en ocasiones no dan aplicación a la cogeneración ya que: primero, no hay políticas de estado que obliguen directamente a estas a su aplicación (el marco regulatorio actual⁵; promueve, pero no obliga). Segundo, las empresas lo ven como un gasto económico inmediato y no como una inversión a mediano o largo plazo, la cual tiene un alto impacto positivo tanto energético como ambiental. Otra de las barreras existentes para implementar proyectos sobre el uso racional de la energía en el país, es la ausencia de mercado de empresas de servicios energéticos y falta de personal capacitado e información en este tipo de implementación, además falta normalización para equipos, en lo que respecta al uso de la energía.

⁵Ley 697 de 2001, y el Decreto 3683 de 2003.

2 ESTADO DEL ARTE PARA DISEÑO DE CALDERAS DE RECUPERACIÓN DE CALOR CON GASES DE COMBUSTIÓN

Este estado del arte presenta la información relacionada al diseño de calderas de recuperación de calor enfatizando en motores alternativos de combustión interna, localizado en proyectos de grado, tesis, artículos e informes de investigación, que se haya realizado en el sector energético e industrial en general.

Se inicia con búsqueda de material de tipo científico y técnico en diferentes bibliotecas, revistas, bases de datos digitales y buscadores de internet relacionados con el tema, se localizó 18 fuentes relacionadas con el sector energético e industrial, de los cuales se seleccionaron 9 fuentes que directamente involucran el tema del proyecto. Estas fuentes fueron tomadas de sitios de internet y bases de datos físicas descritas a continuación.

Se realiza búsqueda de sitios Web que contienen bases de datos online de trabajos de grado, proyectos de investigación y libros en general clasificados en cuatro grupos: buscadores de nivel académico, buscadores de nivel industrial y especializado, bases de datos en bibliotecas de universidades y páginas de revistas de carácter científico y técnico. En cada uno de estos se realiza una búsqueda de palabras exactas referentes a 3 ítems: diseño caldera recuperación, cogeneración motor y recuperación calor motor.

Entre los buscadores se ingresó al buscador google académico que por medio del link de búsqueda avanzada y los ítems anteriormente mencionados se hallan listados de artículos y páginas con estas características que se mencionaran más adelante.

En cuanto a búsqueda académicas e ingreso en la búsqueda de información en páginas que contienen base de datos de tesis y artículos de universidades se hallaron: catalogo en línea de la biblioteca Luis Ángel Arango, SINAB Sistema Nacional de Bibliotecas de la Universidad Nacional de Colombia, Catálogo Público de la Biblioteca virtual de la Universidad de los Andes, Biblioteca en línea de la Universidad de Antioquia, Biblioteca digital EAFIT, repositorio institucional de la Universidad de la Salle.

Por otra parte se hallaron páginas de ubicación de revistas electrónicas y artículos en línea, entre estos se halla: El portal de la Revista Ingeniería e Investigación de la Universidad Nacional de Colombia, Portal de revistas en línea Dialnet, Sistema de biblioteca el Dorado en México Tesis electrónicas de la Universidad de Chile

cybertesis.net, Universia, Revistas Facultad de ingeniería Universidad de Antioquia. De modo físico se cuenta con el listado de tesis de tecnología e ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de caldas.

Las 18 fuentes encontradas están relacionadas con el tema del proyecto. De estas fuentes 8 son proyecto de grado de ingeniería. 6 informes relacionados con el tema, una revista técnica de información, una guía de consulta de nivel industrial, una presentación del ministerio nacional de minas y energía, y un plan de negocio nacional el cual se centra en la cogeneración.

Los criterios de selección de información se establecen debido a la relación directa con el proyecto de grado desarrollado, primero al diseño de calderas de recuperación de calor en motores. Segundo a la cogeneración en los motores de los gases de combustión en el sector energético en el cual es el sector de interés.

2.1 Diseño de una caldera con recuperación de calor HRSG (Heat Recovery Steam Generator) en un ciclo combinado para la refinería de EP Petroecuador ⁶

Este trabajo de grado presenta el diseño de una caldera para cubrir una demanda de vapor de 40000 lb/h a 200 psi. Debido a que la energía térmica de los gases de combustión de una turbina de gas de la compañía no dio la capacidad para producir esta cantidad de vapor, se decidió utilizar esta energía residual con el fin de diseñar un economizador para una caldera convencional con quemador. El economizador mencionado aumenta la temperatura del agua de alimentación de la caldera a la correspondiente temperatura de saturación. Con la implementación de este proyecto el autor aseguró un ahorro en combustible anual de \$608.256,00 dólares para la compañía.

⁶ RUIZ LARA, Ricardo. Diseño de una caldera con recuperación de calor HRSG (Heat Recovery Steam Generator) en un ciclo combinado para la refinería de EP Petroecuador. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Sangolquí. Escuela Politécnica del Ejército. 2012.

2.2 Diseño de un sistema de recuperación de calor para aprovechar la disponibilidad de los gases de combustión de los motores Mitsubishi MAN-18V40/54 ⁷

Este proyecto de grado presenta el diseño de una caldera de recuperación de calor con los gases de combustión de motores Diesel. A diferencia de la fuente anterior, en esta se logró efectivamente la demanda de vapor de 3500 lb/h solo con los gases de combustión, e incluso se consideró en dejar fuera de servicio la que funciona normalmente en la planta, esto con el fin de ahorrar el costo del combustible que se usa. En este proyecto los autores determinan que los costos de inversión de la caldera se recuperan en aproximadamente un año.

2.3 Diseño de un recuperador de calor para aprovechar la disponibilidad de los gases de combustión y calentar el colchón de agua del tanque de lavado de petróleo ⁸

Este proyecto básicamente presenta el diseño de un intercambiador de calor para mantener a 80 °C el agua en el fondo de un tanque de petróleo; para ello utiliza los gases de combustión producto de una turbina a gas. A pesar que no es el diseño de una caldera, es de gran importancia ya que las calderas están en el grupo de intercambiadores de calor y los cálculos como suposiciones térmicas son de gran ayuda.

⁷ CALDERÓN H, José L; PACHACAMA G, José D. Diseño de un sistema de recuperación de calor para aprovechar la disponibilidad de los gases de combustión de los motores Mitsubishi MAN-18V40/54. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Quito. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. 2011.

⁸ MORALES G, Milton E; TIMILLA L, Ernesto V. Diseño de un recuperador de calor para aprovechar la disponibilidad de los gases de combustión y calentar el colchón de agua del tanque de lavado de petróleo. Trabajo de grado, Ingeniero Mecánico. Quito. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. 2007.

2.4 Estudio de Factibilidad para la Recuperación de Calor Residual de Turbinas a Diesel en la Generación de Energía Eléctrica en la Empresa RESOL YPF ⁹

El trabajo analiza la viabilidad técnica y económica para la recuperación de calor residual (cogeneración) de turbinas Diesel en la generación de energía eléctrica en la empresa REPSOL. El proyecto presenta como se puede aprovechar un poder calorífico entregado de los gases de escape hacia un aceite térmico, y de esta manera evaporar un fluido orgánico para producir rotación en una turbina y de esta forma generar energía eléctrica.

2.5 Diseño y construcción de un intercambiador de calor directo para horno cubilote ¹⁰

El proyecto de grado presenta el diseño y la construcción de un intercambiador de calor el cual calienta el aire que ingresa al horno, utilizando los mismos gases de combustión que produce el horno, con el fin de aumentar la eficiencia de este. Una comparación en cuanto al sistema de intercambio que se puede realizar con este proyecto, es con un economizador para caldera el cual aumenta la temperatura del agua de alimentación de esta misma, con el fin de disminuir energía proporcionada por el combustible para llevar el agua a la temperatura de saturación, según claro está la presión requerida.

⁹ NOROÑA LUCERO, Christian Paul. Estudio de factibilidad para la recuperación de calor residual de turbinas a diesel en la generación de energía eléctrica en la empresa Repsol YPF. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Quito. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. 2012.

¹⁰ LÓPEZ R, Cristian F; TREJO F, Luis A. Diseño y construcción de un intercambiador de calor directo para horno cubilote. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Quito. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. 2013.

2.6 Aspectos Técnico Económicos para Evaluación de Proyectos de Cogeneración en base a grupos Generadores Diesel ¹¹

La fuente entrega información teórica, aportes de la experiencia, fuentes de información y una metodología para evaluar técnica y económicamente la aplicabilidad de la cogeneración en proyectos industriales de diversa índole con necesidades de energía eléctrica y térmica, útil para quienes deban tomar decisiones de cómo y por qué implementar alternativas de suministro de energía eléctrica y térmica, empleando grupos generadores Diesel que hagan uso eficiente de la energía disponible a través de la cogeneración. Los contenidos abarcan el conocimiento general de grupos generadores Diesel y del proceso de cogeneración, sus principios de operación, las variables a considerar en la selección y especificación de equipos, normas relevantes, información técnica de referencia y aportes propios de la experiencia necesarios para el diseño de plantas de cogeneración. Se aborda la metodología para resolver el problema técnico económico de incorporar cogeneración en un proceso cualquiera, visualizando las distintas configuraciones de planta y sus variables de decisión, orientando al interesado en la generación, evaluación y selección de opciones, basadas en distintos criterios y procedimientos de cálculo.

2.7 Recuperación de calor de proceso ¹²

La fuente trata a grandes rasgos formas directas e indirectas de recuperar calor. Además de esto propone antes de decidirse a aplicar la recuperación de calor, formularse unas preguntas puntuales, las cuales son de gran ayuda a la hora de realizar un proyecto de recuperación de calor. Estos interrogantes son: ¿Cuáles son las fuentes de calor disponibles?, ¿De cuanta cantidad de calor (energía) se dispone?, ¿A qué temperatura está disponible el calor?, ¿Dónde puede utilizarse ese calor?, ¿Cuánto calor se requiere y a que temperatura?, ¿Cuál es el grado de recuperación práctico?, ¿Qué porción de calor residual puede utilizarse?

¹¹ GIANGRANDI V, Leonardo. Aspectos técnico económicos para evaluación de proyectos de cogeneración en base a grupos generadores diesel. Trabajo de grado Ingeniero Civil Electricista. Santiago de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería. 2011.

¹² COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA. Recuperación de calor de proceso. Publicación de La Dirección de enlace y Programas Regionales, Apoyo al sector privado. 2010 México D.F.

2.8 Modelado Energético de Motores de Combustión Interna para Aplicaciones de Cogeneración ¹³

Esta fuente presenta un conjunto de correlaciones para modelar desde un punto de vista energético motores alternativos de combustión interna, en aplicaciones de cogeneración. El conjunto de correlaciones se ha obtenido a partir de modelos energéticos y de una base de datos elaborada a partir de información proporcionada por fabricantes. El rango de validez es para potencias eléctricas entre 50 kW y 3000 kW. Las correlaciones obtenidas proporcionan el consumo de combustible, el calor recuperable tanto de los gases de escape como del circuito de enfriamiento y la temperatura de los gases de escape como una función de la potencia eléctrica.

2.9 Nuevos Elementos para el Estudio de la Cogeneración en Colombia ¹⁴

Este artículo aporta elementos para evaluación Técnico Económica de proyectos de cogeneración. El trabajo resalta las múltiples posibilidades que presentan los Motores de Combustión Interna Alternativos en el campo de la cogeneración a las pequeñas y medianas empresas (PYMES) aprovechando la exergía del calor de los gases de escape no solo en la generación directa de vapor o agua caliente a diferentes temperaturas, sino también en procesos de precalentamiento de fluidos utilizados en sistemas energéticos convencionales.

¹³ RUBIO MAYA, C., BELMAN FLORES, J. M., GALVÁN GONZÁLEZ, S. R., PACHECO IBARRA, J. J., MEDINA FLORES, J. M. Modelado Energético de Motores de Combustión Interna para Aplicaciones de Cogeneración. Publicación de Memorias del XVI congreso internacional anual de la SOMIM 22 al 24 de Septiembre, 2010 Monterrey, Nuevo León, México.

¹⁴ AGUDELO SANTAMARIA, John Ramiro. AMELL ARRIETA, Andrés A. CADAVI, Francisco J. Nuevos Elementos para el Estudio de la Cogeneración en Colombia. Revista facultad de ingeniería No.25.pp. 13-25. Abril, 2002.

3 JUSTIFICACIÓN

El uso adecuado de la energía es un tema que día a día toma mayor relevancia, ya sea por la parte económica o ambiental. Es aquí donde el interés de aprovechar el calor generado en el proceso de combustión de los motores en un sistema de generación, ha llevado al desarrollo de este proyecto de grado.

El uso de la energía térmica residual ayuda al aporte de la demanda energética en Colombia, la cual aumentará según los estudios proyectados al 2020 por la UPME. Se tiene previsto que el proyecto sea un modelo a seguir a otras aplicaciones en la que se detecte que exista energía térmica a utilizar ya sea para generar vapor o para algún otro fin.

En la fase exploratoria en el desarrollo del estado del arte se encuentra diferentes proyectos trabajados en el área del diseño de calderas de recuperación, relacionado con el tema de proyecto de grado de los cuales se han usado referencias y se ha determinado los trabajos más acordes para tomar en cuenta en el trabajo de grado.

Si no se realiza el diseño de la caldera de recuperación de calor, se continuará justificando el desperdicio de energía térmica residual útil; y se gastará combustible adicional para la generación de vapor de agua que se necesita.

Debido al alto costo de los combustibles fósiles y a su gran impacto ambiental, la energía térmica resulta tener un gran valor que no se puede derrochar.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una caldera de recuperación de calor aprovechando la disponibilidad de los gases de combustión en un Motor marca Wartsila referencia 9L20, para generar 500 Kg/h de vapor.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el área de transferencia necesaria de la caldera.
- Dimensionar la caldera.
- Evaluar la eficiencia térmica de la caldera.

5 MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de este proyecto se ha enfatizado en principios fundamentales de la ingeniería mecánica:

Los principales conceptos que se han de tratar en el desarrollo del proyecto están directamente relacionados con Termodinámica y Transferencia de Calor.

5.1 TRANSFERENCIA DE CALOR

Se define la transferencia de calor al movimiento de energía térmica de un punto a otro de un sistema. Existen tres tipos fundamentales de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

5.1.1 Conducción

Es la transferencia de calor de una parte a otra de una sustancia, o de una sustancia a otra en contacto físico con aquella, sin que haya un movimiento significativo de sus partículas. Como ejemplo podemos citar el calentamiento de una barra de metal por la aplicación de calor en uno de sus extremos.

5.1.2 Convección

Es la transferencia de calor de un punto a otro en la masa de un fluido (gas o líquido) por la mezcla de una parte de fluido con otra. La convección natural o movimiento del fluido es causado por la diferencia de densidades, resultado de la diferencia de temperaturas entre las diversas partes de un fluido. Un ejemplo de convección natural es la subida de aire caliente o descenso de aire frío en el interior de una sala. La convección forzada es producida por medios mecánicos tales como una bomba, un ventilador o un mezclador.

5.1.3 Radiación

Es la transferencia de calor de un cuerpo a otro, sin contacto físico, por medio de radiaciones o movimiento de ondas a través del espacio. Un ejemplo es el calor recibido del sol por la tierra.

Un ejemplo práctico de un caso que contiene los tres tipos de transferencia de calor es un generador de vapor industrial. La energía radiante de la combustión es transferida a los tubos de calentamiento. Los gases de combustión transfieren calor por convección. Finalmente, el calor es transmitido a través de las paredes de los tubos al material que se está calentando por medio de conducción.

5.1.4 Sistema de transferencia de calor

La energía de una fuente calor puede transferirse de dos formas:

- Calentamiento directo: En este sistema el calor es aplicado directamente al objeto.
- Calentamiento indirecto: El calor es transportado de la fuente al objeto por un fluido intermediario.

En la utilización de fluidos intermediarios, se consigue separar la fuente de calor del objeto a calentar, con las ventajas consiguientes: eliminar todo tipo de contaminaciones, como asimismo calentamiento de sustancias inflamables con menos peligro. Permite además un más estricto control de temperaturas y facilita la distribución de calor.

5.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR¹⁵

En la vida diaria se encuentran muchas situaciones físicas en las que es necesario transferir calor desde un fluido caliente hasta uno frío con múltiples propósitos. Por ejemplo, ahorro de energía (combustible) lo que disminuye los costos de operación; ó para llevar al fluido a una temperatura óptima, bien sea para un procesamiento posterior o para alcanzar condiciones de seguridad necesarias en el caso de transporte y/o almacenamiento. Para transferir calor existen una amplia variedad de equipos denominados intercambiadores de calor.

Los equipos de intercambio de calor se pueden clasificar de acuerdo a diferentes criterios: tipo de contacto entre las corrientes fluidas, relación área de transferencia de calor a volumen ocupado, número de fluidos involucrados, de acuerdo al servicio, tipo de construcción, etc. En esta Guía se presentan diferentes tipos de equipos y sus aplicaciones más relevantes a fin de que el estudiante se

¹⁵ GONZALEZ, Dosinda. Intercambiadores de Calor. Sartenejas Marzo 2012

familiarice con los intercambiadores de calor más utilizados a nivel industrial, de manera que al finalizar el curso pueda clasificarlos de acuerdo a su función y configuración, y pueda seleccionar el más adecuado para una aplicación determinada.

5.2.1 Intercambiadores de tubo y coraza

De los diversos tipos de intercambiadores de calor, éste es el más utilizado en las refinerías y plantas químicas en general debido a que:

- a) Proporciona flujos de calor elevados en relación con su peso y volumen.
- b) Es relativamente fácil de construir en una gran variedad de tamaños.
- c) Es bastante fácil de limpiar y de reparar.
- d) Es versátil y puede ser diseñado para cumplir prácticamente con cualquier aplicación.

Hay dos tipos básicos de intercambiadores de tubo y carcasa: El de tipo fijo o de tubos estacionario, que tiene los dos extremos de los tubos fijos a la carcasa, y el que tiene un sólo extremo de los tubos sujeto a la coraza. En el primer caso, se requiere de una junta de dilatación debido a la expansión diferencial que sufren los materiales que conforman el equipo. En el segundo caso los problemas originados por la expansión diferencial se pueden eliminar empleando un cabezal de tubos flotantes que se mueve libremente dentro de la coraza o empleando tubos en forma de U en el extremo que no está sujeto.

5.2.2 Intercambiadores de placas

A pesar de ser poco conocido, el intercambiador de placas, llamado también PHE por sus siglas en inglés: **Plate Heat Exchanger**, tiene patentes de finales del siglo XIX, específicamente hacia 1870, pero no fue sino hasta los años 30 que comenzó a ser ampliamente usado en la industria láctea por razones sanitarias. En este tipo de intercambiadores las dos corrientes de fluidos están separadas por placas, que no son más que láminas delgadas, rectangulares, en las que se observa un diseño corrugado, formado por un proceso de prensado de precisión. A un lado de cada placa, se localiza un empaque que bordea todo su perímetro. La unidad completa mantiene unidos a un cierto número de estas placas, sujetas cara a cara en un marco. El canal de flujo es el espacio que se forma, gracias a los empaques, entre

dos placas adyacentes; arreglando el sistema de tal forma, que los fluidos fríos y calientes corren alternadamente por dichos canales, paralelamente al lado más largo. Existen aberturas en las 4 esquinas de las placas que conjuntamente con un arreglo apropiado en los empaques, dirigen a las dos corrientes en sus canales de flujo.

Las placas son corrugadas en diversas formas, con el fin de aumentar el área superficial efectiva de cada una; provocar turbulencia en el fluido mediante continuos cambios en su dirección y velocidad, lo que a su vez redundaría en la obtención de altos coeficientes de transferencia de calor, aún a bajas velocidades y con moderadas caídas de presión. Las corrugaciones también son esenciales para incrementar la resistencia mecánica de las placas y favorecer su soporte mutuo.

Estos equipos son los más apropiados para trabajar con fluidos de alta viscosidad y tienen como ventaja adicional, el ser fácilmente desmontables para labores de mantenimiento. No obstante, las condiciones de operación se encuentran limitadas por los empaques. En los primeros equipos la presión máxima era de 2 bar (0,2 Mpa) y la temperatura alrededor de 60 °C. Pero a pesar de que el diseño básicamente ha permanecido inalterado, los continuos avances en los últimos 60 años han incrementado las presiones y temperaturas de operación hasta los 30 bar (3 Mpa) y 250 °C, respectivamente. Es importante destacar que la elección del material de los empaques se vuelve más restringida a altas temperaturas, lo que en consecuencia reduce el número de fluidos que pueden ser manejados por estos equipos bajo esas condiciones; además la vida útil de la unidad depende, en gran medida, del rendimiento de los empaques. Inicialmente, este tipo de equipos era usado en el procesamiento de bebidas y comidas, y aunque todavía retienen su uso en el área alimenticia, hoy en día son usados en una amplia gama de procesos industriales, llegando inclusive, a reemplazar a los intercambiadores de tubo y carcasa.

Una variante de los PHE se consigue si las placas son soldadas juntas en los bordes, lo que previene las fugas a la atmósfera y permite el manejo de fluidos peligrosos. Un equipo construido de esta forma, se le conoce como intercambiador de placas no empacadas, y tienen como desventaja el no poder ser abierto para labores de mantenimiento, por lo que las labores de limpieza deben ser realizadas por métodos químicos. No obstante, las demás ventajas de las unidades de placas se mantienen. El diseño particular de este equipo permite alcanzar las presiones de operación que se manejan en los equipos tubulares convencionales, tales como tubo y carcasa, enfriados por aire y doble tubo. Sin embargo, todavía existe

una limitación en cuanto al diseño, en la que la diferencia de presión entre ambos fluidos no debe exceder los 40 bar.

5.3 CALDERAS¹⁶

Una caldera es un recipiente a presión diseñado para generar vapor de agua, absorbiendo el calor liberado en la combustión de un combustible o también de gases calientes provenientes de un proceso externo o de elementos eléctricos.

5.3.1 Calderas Prirotubulares

Como su nombre lo indica, el gas circula dentro de los tubos y el agua por fuera. Este tipo de calderas se fabrican en capacidades que van desde 1 BHP hasta proxímadamente 900 BHP, en unidades estandarizadas de 5, 10, 20, 40, 100, 200 y más BHP. Las presiones de operación más comunes son 150 Psi y 250 Psi, aunque por supuesto pueden trabajar a presiones muy bajas también.

La máxima producción de vapor que se puede conseguir con una unidad de este tipo es del orden de 30.000 lb/hr (3.8 Kg/s) y solo producen vapor saturado. No es conveniente diseñarlas para presiones mayores a 300 Psi (20.7bar) ni para producir vapor sobrecalentado.

Son de bajo costo ya que su fabricación es sencilla y se utilizan para quemar combustibles gaseosos, líquidos y sólidos.

5.3.2 Calderas Acuo-tubulares

Cuando se requieren presiones superiores a 300 Psig (20.7 Bar) se hace indispensable la utilización de calderas acuatubulares, aunque desde luego pueden operar de 120 Psig (8.3 Bar) en adelante.

Las capacidades de estas calderas se acercan a los 10 millones de libras por hora de vapor (1258 Kg/s) y aún más, y presiones de 2,500 Psig (172.4 a 275.9 Bar) a 4,000 Psig a la salida del sobrecalentador con temperaturas de vapor sobrecalentado y recalentado de 1.025°F (551.7°C). Lo anterior ha sido posible

¹⁶ Operación y mantenimiento de calderas.

gracias a la calidad de materiales y a la elaboración de maquinaria que permite su fabricación.

La capacidad de estas calderas no se acostumbra medirlas en BHP, normalmente se expresan en lb/hr (Kg/s) de vapor producido o en Mbtu/hr, teniendo en cuenta que cada libra de vapor a una presión y temperatura dadas dispone de una cantidad determinada de Btu (KJ).

Se dividen en acuo-tubulares de circulación natural, circulación controlada y circulación forzada.

5.3.3 Agua en las calderas

El agua químicamente pura es difícil de conseguir, debido a que es el solvente universal, donde todas las sustancias son solubles hasta cierto grado. Por lo tanto, la composición del agua refleja la naturaleza del terreno donde fue obtenida, y de allí que la calidad del agua varía con su origen y a la estación climatológica reinante.

El agua ideal para alimentar calderas es aquella que no deposita sustancias incrustantes, no corroe sus superficies metálicas o accesorios, no ocasiona arrastres o espumas y no causa fragilidad al acero de las calderas.

Los principales problemas que se presentan en las calderas como consecuencia de un deficiente o nulo tratamiento de agua son: corrosión, incrustaciones, fragilidad y arrastre.

La corrosión es un desgaste anormal o disolución de un metal al reaccionar con su medio ambiente, ocasionando así una disminución de sus propiedades mecánicas. Aunque los factores que más influyen en este proceso son innumerables, los más importantes son: oxígeno disuelto, concentración de iones, hidrógeno, velocidad del agua y temperatura.

La formación de depósitos sólidos dentro de las calderas bajo condiciones de producción de vapor, da como resultado la acumulación de lodos o la formación de incrustaciones. Los depósitos en forma de incrustaciones son sumamente perjudiciales, ya que son malos conductores del calor, causan reducción de eficiencia y a menudo son responsables de que se quemen los tubos o placas.

El efecto fragilizante del hidrógeno sobre el acero se debe al desprendimiento y a la absorción por el acero del hidrógeno en estado naciente. Este fenómeno se

facilita cuando se emplea agua de tipo fragilizante y cuando existen espacios estrechos en áreas sumamente tensionadas en las que puede haber soda cáustica.

Arrastre en el vapor: La producción del vapor limpio y seco ha llegado a ser un problema mucho más urgente debido a que la eficiencia del equipo generador se ha ido aumentando mediante el uso de calderas de alta presión. Cuando se arrastra agua de calderas en el vapor, ésta puede producir depósitos en líneas principales de vapor y en válvulas, sobrecalentadores y en las tuberías. En contraste con este tipo de arrastre, se presenta el debido a las ebulliciones extremadamente rápidas, casi explosiva del agua en las superficies de calentamiento, la cual también puede producirse por causa de la espuma, lo cual ocurre cuando las burbujas de vapor suben de las superficies de calentamiento, formando una capa de espuma sobre la superficie del agua. La espuma puede llenar el espacio del vapor a tal grado que parte de ella entra a los tubos conductores de vapor.

6 METODOLOGÍA

6.1 FASE DE DOCUMENTACIÓN

En la fase de documentación, se realizan las actividades de búsqueda, localización, y clasificación de la información documental relacionada con el proyecto así como profundizar y reforzar en el estudio del marco teórico aplicado al mismo, para obtener herramientas iniciales en el desarrollo del proyecto. La recopilación es material teórico, libros, artículos, revistas, normas técnicas, fichas técnicas de equipos e información documental que son necesarios en el desarrollo del proyecto.

6.2 FASE DESARROLLO DE INGENIERÍA CONCEPTUAL

En esta fase del proyecto es analizada la documentación recopilada en la fase de documentación, y se establece la filosofía o los principios de operación del proyecto, junto con el tipo y las características principales de este, de acuerdo con las instalaciones, el entorno y la magnitud de los riesgos. Por ser un trabajo preliminar no contiene planos detallados ni especificaciones definitivas que permitan concluir.

6.3 FASE DESARROLLO DE INGENIERÍA BÁSICA

En esta fase se determina la capacidad del proyecto y se establecen las características de los principales elementos que hacen parte del alcance de este. Aquí se elaboran los cálculos, diagramas y/o esquemas necesarios.

6.4 FASE DESARROLLO DE INGENIERÍA DE DETALLE

Es la fase final de la Ingeniería del proyecto en la cual se desarrollan las especificaciones básicas de este, instrumentos y otros elementos del proyecto, basados en códigos, normas y estándares hasta obtener planos, documentos y listados aprobados para construcción.

6.5 FASE ELABORACIÓN DE DOCUMENTO FINAL

En esta fase se realiza el presente documento para optar a título de Ingeniero Mecánico, siguiendo el formato del Proyecto Curricular de Ingeniería Mecánica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, y las normas ICONTEC (NTC 5613:2008, Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 1486:2008, Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación) disponibles para tal fin. Se anexan planos, esquemas, diagramas y documentos necesarios que soportan el proyecto realizado.

7 CRONOGRAMA

FASE	ACTIVIDAD	DURACIÓN (meses)											
		1			2			3					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FASE DE DOCUMENTACIÓN	Busqueda de la información	■	■										
	Clasificación de la información	■	■										
FASE DE INGENIERÍA CONCEPTUAL	Análisis de la documentación		■	■									
	Establecer principios y características de las calderas			■									
	Revisión de la normatividad técnica				■								
FASE DE INGENIERÍA BÁSICA	Definir características de los gases de escape					■							
	Determinar la capacidad de la caldera						■						
	Realizar cálculos pertinentes					■	■						
	Elaboración de diagramas planos y/o esquemas necesarios					■	■						
FASE DE INGENIERÍA DE DETALLE	Realizar cálculos térmicos							■	■				
	Realizar cálculos mecánicos									■	■		
	Elaboración de planos											■	■
FASE ELABORACIÓN DE DOCUMENTO FINAL	Organizar la presentación de cálculos			■	■	■	■	■	■	■	■		
	Elaboración documento Proyecto de Grado			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Tabla 2. Cronograma de actividades

8 PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

Material	Detalle	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario Pesos	Total
Fotocopias	Documentos técnicos	UND	200	\$ 100	\$ 20.000
Impresión Documentos	Documentos técnicos y Documentos Finales	UND	400	\$ 200	\$ 80.000
Impresión Planos	Diagramas de proceso, PI&D's, Layouts, etc.	UND	30	\$ 2.000	\$ 60.000
Suministros de Oficina	Recursos de oficina	UND	1	\$ 60.000	\$ 60.000
Transportes	Empresa-Universidad	UND	30	\$ 1.700	\$ 51.000
Gasto General Materiales					\$ 271.000
Software Especializado	Detalle	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Total
Licencia 1	Autodesk INVENTOR, y AutoCAD	HORA	45	\$ 3.800	\$ 171.000
Gasto General Licencia					\$ 171.000
Total Materiales y Software					\$ 442.000

Tabla 3. Recurso material

Descripción	Cantidad de personas	Dedicación semanal	Valor Hora	Costo personal
	Numero	Horas	Pesos	Pesos
Autores del proyecto (Estudiantes)	1	12	\$ 20.000	\$ 6.240.000
Director o tutor interno (Universidad)	1	0,5	\$ 45.000	\$ 585.000
Director o tutor externo (Empresa)	1	1	\$ 150.000	\$ 3.900.000
				\$ 10.725.000
Carga Prestacional			51,30%	\$ 5.501.925
				\$ 16.226.925

Tabla 4. Recurso humano

Presupuesto General Proyecto		
Duración estimada en meses		6
Semanas		26
Descripción	Costo asociado en Pesos	Fuentes de financiación
Total Recurso Humano Asociado	\$ 16.226.925	
1 Autores del proyecto (Estudiantes)	\$ 9.441.120	Personal
1 Director o tutor interno (Universidad)	\$ 885.105	Institucional
1 Director o tutor (Empresa)	\$ 5.900.700	Empresarial
Software o equipo de apoyo	\$ 171.000	Empresarial
Gasto General Materiales	\$ 271.000	Personal
Subtotal	\$ 16.668.925	
1% Imprevistos	\$ 166.689	
Total presupuestado	\$ 16.835.614	

Tabla 5. Presupuesto general del proyecto

9 BIBLIOGRAFÍA

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Documentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1481-ISO 9001. Bogotá D.C

HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto Y FERNANDEZ COLLADO, Carlos Y BAPTISTA LUCIO, Pilar. Metodología de la investigación. 4 ed. Editorial Mc Graw Hill

LERMA, Héctor Daniel. Metodología de la Investigación: Propuesta Anteproyecto y Proyecto. 2 Ed. Ecoe Ediciones. Bogotá D.C. 2001.

SPAG CHAIN, Nassir; SPAG CHAIN, Reinaldo. Preparación y Evaluación de Proyectos. 2 Ed. Mc Graw-Hill. México 1991.

CENGEL, Yunus A; BOLES, Michael A. Termodinámica. 6 Ed. McGraw-Hill. México 2009.

CENGEL, Yunus A. Transferencia de Calor. 2 Ed. McGraw-Hill. México 2006.

ICROPERA, Frank P; DE WITT, David P. Fundamentos de transferencia de Calor. 4 Ed. Prentice Hall. México 1999.

Manual de referencia de tarifas para la contratación de servicios profesionales de ingeniería en Colombia, (2008). Asociación Colombiana de Ingenieros -ACIEM-

GIANGRANDI V, Leonardo. Aspectos técnico económicos para evaluación de proyectos de cogeneración en base a grupos generadores diesel. Trabajo de grado Ingeniero Civil Electricista. Santiago de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería. 2011.

NOROÑA LUCERO, Christian Paul. Estudio de factibilidad para la recuperación de calor residual de turbinas a diesel en la generación de energía eléctrica en la empresa Repsol YPF. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Quito. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. 2012.

RUBIO MAYA, C., BELMAN FLORES, J. M., GALVÁN GONZÁLEZ, S. R., PACHECO IBARRA, J. J., MEDINA FLORES, J. M. Modelado Energético de Motores de Combustión Interna para Aplicaciones de Cogeneración. Publicación de Memorias del XVI congreso internacional anual de la SOMIM 22 al 24 de Septiembre, 2010 Monterrey, Nuevo León, México.

LOZANO, Miguel A. RAMOS, José. Análisis Energético y Económico de Sistemas Simples de Cogeneración. Revista información tecnológica, Vol. 18 (5), 75-84 (2007).

AGUDELO SANTAMARIA, John Ramiro. AMELL ARRIETA, Andrés A. CADAVI, Francisco J. Nuevos Elementos para el Estudio de la Cogeneración en Colombia. Revista facultad de ingeniería No.25.pp. 13-25. Abril, 2002.

GARCIA ALMIÑANA, Daniel. Metodología para Evaluar la Calidad de Proyectos de Cogeneración Termoeléctrica. Publicación VI Congreso internacional de proyectos de ingeniería. Departamento de proyectos de ingeniería, sección de Terrassa, universidad politécnica de Catalunya.

MARTINEZ ORTEGA, Erick. Estudio de factibilidad de uso racional y eficiente de la materia prima no tradicional del sector avícola para la generación de energía eléctrica. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Fisicomecánica, Escuela de Ingeniería Eléctrica. 2009.

REGIL WALD DE LEON, Juan Sebastián. Estudio de factibilidad para producción de energía eléctrica, a partir de biomasa de eucalipto. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. 2010.

PEDRAZA ORTIZ, Mario Fernando. Idea de Negocio. INCONGEL, Ingeniería Colombiana para Cogeneración. 2006.

DOYHARZABAL, J. C. CAMINOS, J. A. COZZI, A. J. Análisis Técnico -Económico sobre Cogeneración Aplicado al Edificio de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe. Revista ciencia e ingeniería. Vol. 24 No. 2. 2003.

LAPUERTA, M. ARMAS, O. GOMEZ, A. Estudio Experimental sobre Emisiones Contaminantes en un Motor Diesel de 0.5 MW Trabajando en Condiciones de Generación y Cogeneración. Revista ciencia e ingeniería. Vol. 23. No. 1. 2002.

FUSHIMI, Alberto. ZARATE, Leandro. Posibilidades de Aplicación de la Cogeneración en la República Argentina. Estudios de Casos Notables. Publicación world congress y exhibition. ENGINEERING 2010-ARGENTINA.