

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO
CURSOS ESPECIALES DE GRADO**



**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE ALIMENTACIÓN
DEL GAS COMBUSTIBLE A LA CENTRAL ELÉCTRICA CE-01**

REALIZADO POR:

ENRIQUE EDUARDO BARRIOS GUZMÁN

JOSÉ NEHOMAR SALAZAR SERRANO

Trabajo De Grado Presentado Ante la Universidad de Oriente como Requisito

Parcial para Optar al Título de:

INGENIERO DE PETRÓLEO

Puerto La Cruz, Agosto de 2007

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEO
CURSOS ESPECIALES DE GRADO



**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE ALIMENTACIÓN
DEL GAS COMBUSTIBLE A LA CENTRAL ELÉCTRICA CE-01**

JURADO

Ing. de Petróleo José Rondón
Jurado Principal

Ing. Químico Iselvia Avendaño
Jurado Principal

Ing. de Petróleo Mario Briones
Jurado Principal

Ing. de Petróleo José Fariñas
Jurado Principal

Puerto La Cruz, Agosto de 2007

RESOLUCIÓN

Artículo 44 del Reglamento de Trabajos de Grado

Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la evaluación de las condiciones óptimas de alimentación del gas combustible a la Central Eléctrica CE-01. Para llevar a cabo este proyecto se efectuó una evaluación de la corriente de gas de alimentación utilizando el simulador Hysys Plant versión 3.1, para determinar las condiciones de operación actuales en la planta. Para dicha simulación fue necesario determinar la tasa de gas, teniendo como resultado 1,3 MMPCD para las condiciones actuales, donde se obtuvo que el gas llega a los equipos fuera de especificación. También se realizó la evaluación del escenario futuro de operación el cual consideró cambios de los equipos presentes y la instalación de nuevos equipos de la planta. Para este escenario se requiere una tasa de gas de alimentación de 3,308 MMPCD. Se diseñó un sistema de deshidratación con tamices moleculares y un calentador indirecto, esto para realizar el proceso de acondicionamiento de la corriente de gas de entrada y de esta manera se garantiza que dicha corriente llegará a cada equipo a las especificaciones requeridas.

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por haberme dado la vida y permitirme alcanzar tan anhelado sueño, el de ser un Ingeniero.

A mi madre Iris del Carmen, por su paciencia, comprensión y su apoyo incondicional. Siempre ha sido mi fuente de inspiración “la quiero mucho doñita”.

A mi padre José Eduardo, por su esfuerzo y su trabajo para ayudarme en todo lo necesario para alcanzar el título.

A mis hermanos: Carlos José, Carmen Elena, Marina Josefina, Jacqueline del Valle, Luís Eduardo, Rosa Carolina y Manuel Eduardo, Compañeros en todo momento. Este título también es para ustedes, los quiero mucho hermanos.

A mis sobrinos: José Gregorio, Perla Marina, Anex Carolina, Adamaris Carolina, y especialmente para ti Andrés Eduardo “te quiero mucho gordo” tu también puedes lograr tus sueños y ser un triunfador.

A mis abuelas, Carmelita y Carmen de Jesús siempre las recuerdo. Que dios las tenga en su gloria.

Enrique Barrios

DEDICATORIA

A Dios y a mi Virgen del Valle, por ser mis guías y por no dejarme solo en ningún momento.

A mi Madre, por darme la vida, por ser mi amiga, compañera y guía en todos los pasos que he realizado para lograr mis metas. Y gracias por tener toda la confianza en mí y sobre todo que mi vieja siempre creyó en MÍ!!

A mis Hermanos (Nelsito, Francisco, Roberto, El negro), que los adoro y por ser ellos mi misión en esta vida.

A mi gorda (Yanlis), por ser tan especial para mí, por estar conmigo desde el inicio de mi carrera universitaria, por conocerme tan bien, por brindarme toda tu ayuda, por compartir esos momentos estudiantiles tan bonitos que vivimos juntos. Gracias por tu amor, cariño, comprensión, confianza y apoyo incondicional.

A mi Tío Jorge, Tía Tibizay, Tereza, Lovelia, Xiomara, Nancy, y a la patriarca mi abuela (Dora), por bríndame siempre su cariño, confianza, apoyo y por sus buenos consejos, y sobre todo bastante PACIENCIA!!!

GRACIAS POR EXISTIR MI GENTE!!!!!!

José Nehomar Salazar

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Oriente, que me abrió sus puertas y me brindó la oportunidad para lograr alcanzar el sueño que una vez tuve y que hoy se hace realidad. Siempre la recordare y ocupara un lugar muy especial en mi corazón.

A todos los profesores, compañeros, amigos y amigas de la escuela de ingeniería de petróleo que contribuyeron conmigo y me brindaron su apoyo durante todos estos años, no saben cuanto agradezco toda la ayuda y la colaboración prestada, gracias, sin ustedes el camino hubiese sido muy difícil.

A mis compañeras de áreas de grado, Daniela Subero y Marielis Atay por haberme ayudado a concluir mi carrera, a ustedes muchas gracias, estoy muy agradecido de haber trabajado junto a ustedes.

Enrique Barrios

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mi Virgen del Valle, por ser mis guías espirituales y por no dejarme solo en ningún momento.

A mi madre, por estar siempre conmigo, apoyándome cuando más lo he necesitado y además por brindarme la oportunidad de iniciarme y formarme como profesional, sin su apoyo y confianza no lo hubiese logrado. Gracias una vez más y tengan siempre presente que la amo mucho. Este logro es tuyo vieja!!

A mis hermanos (Nelsito, Francisco Roberto y el El negro), por ser mi fuente de inspiración. Gracias por estar siempre conmigo, que este logro les sirva de ejemplo.

A Yanlis Del Valle (mi Pumpy), por ser mi novia, amiga y compañera, por estar conmigo en todo momento (bueno o malo) brindándome su apoyo y dándome la confianza de seguir adelante a paso firme sin derrumbarme.

A mis tias y tios (Familia Serrano), por sus concejos, por estar pendiente de mi y apoyarme en todo momento.

A mis panas (Pedro, David, Eugenio, Carmen, Melvin, Mariangel, Emilis) por ayudarme, acompañandome y dandome la oportunidad y confianza para seguir adelante. Y el cual e pasado momentos buenisimos al lado de ellos!

A mi casa de estudio y a todos los profesores (en especial Prof. Roberto Salas) por todos sus conocimientos impartidos y por servirnos de patrón, para llegar hacer los mejores profesionales.

Les doy gracias una vez más a todos mis familiares, amigos, compañeros y profesores por haberme brindado todo su apoyo, colaboración, amistad y confianza para alcanzar tan importante meta en mi vida.

José Nehomar Salazar

CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iii
RESUMEN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
CONTENIDO	x
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	13
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo General	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	16
2.1 CENTRAL ELÉCTRICA	16
2.1.1 Centrales Hidroeléctricas	16
2.1.2 Centrales Nucleares	18
2.1.3 Generación eléctrica con ciclos combinados de gas natural	20
2.1.4 Centrales Térmicas	21
2.1.5 Centrales eólicas	22
2.1.6 Centrales Solares	25
2.1.7 Central de biomasa	27
2.2 GAS NATURAL	29
2.2.1 Combustible eficiente	30
2.2.2 Sectores de utilización	31
2.3 MOTOR DE COMBUSTIÓN	34

2.3.1 Motor de combustión interna.....	35
2.3.2 Tipos de motores de combustión interna.....	41
2.4 TURBINAS DE VAPOR	44
2.4.1 Clasificación de las turbinas	46
2.5 TAMICES MOLECULARES	47
2.5.1 Características de los tamices moleculares.....	48
2.5.2 Consideraciones básicas sobre el diseño de un deshidratador con desecantes secos (sólidos).....	49
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	51
3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	51
3.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES DEL SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE DE LA PLANTA.....	51
3.2.1 Consumo de gas combustible de los motores Caterpillar.....	52
3.2.2 Consumo de gas combustible de los motores Cummins	53
3.2.3 Consumo de gas combustible de las turbinas Taurus 60 Solar.....	54
3.3 EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y DEL ESCENARIO FUTURO DEL SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE EN LA PLANTA.....	54
3.4 EJECUCIÓN DE LAS SIMULACIONES DEL PROCESO	56
3.4.1 Descripción del simulador de procesos Hysys Plant	58
3.4.2 Características del simulador.....	58
3.4.3 Simulación de la situación actual de la planta.....	60
3.4.4 Simulación del escenario futuro de la planta.....	61
3.4.5 Diseño del sistema de deshidratación con desecantes secos (sólidos)	63
3.4.6 Diseño del calentador indirecto	69
3.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	73
3.6 REDACCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO.....	73
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	74
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84

5.1 CONCLUSIONES.....	84
5.2 RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFÍA.....	87
ANEXOS.....	88
ANEXO A	88
ANEXO B.....	90

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existen yacimientos que no cuentan con suficiente energía como para producir petróleo o gas en forma natural, en estos casos se utilizan técnicas de levantamiento artificial para conducir estos fluidos a la superficie. Los métodos de levantamiento artificial usados comúnmente para producir crudos pesados y extrapesados son: levantamiento artificial por gas, bombeo mecánico, bombeo electrosumergible, bombeo hidráulico y bombeo por cavidades progresivas, siendo el más utilizado el bombeo mecánico. Estos métodos, para su aplicación, requieren de energía eléctrica.

Las compañías de electricidad y los proveedores independientes de energía emplean cada vez más el gas natural para alimentar sus centrales eléctricas. Generalmente, las centrales que funcionan con gas natural tienen menores costes de capital, se construyen más rápidamente, funcionan con mayor eficacia y contaminan menos la atmósfera que las centrales que utilizan otros combustibles fósiles. En una central eléctrica se genera energía mediante turbinas de gas y/o motores de combustión interna. Estos últimos, son máquinas que obtienen energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión.

El gas natural es un combustible de excelente calidad, limpio y de fácil transporte y ha reemplazado con grandes ventajas a combustibles tradicionales como la leña, el carbón y el kerosene, evitando la degradación y tala de montes.

En general, el gas natural posee impurezas o contaminantes como nitrógeno, hidrógeno, anhídrido carbónico, y sulfuro de hidrógeno. El hidrógeno y el nitrógeno

son gases inertes que sólo afectan el poder calorífico del gas. Mientras que el anhídrido carbónico (CO_2) y el sulfuro de hidrógeno (H_2S), forman ácidos o soluciones ácidas en presencia del agua contenida en el gas, siendo estas sustancias indeseables, por lo que deben eliminarse del gas natural.

Otro contaminante al que se debe prestar mucha atención es al agua, siempre presente en el gas proveniente del yacimiento, ya que produce corrosión y formación de hidratos, los cuales son inclusiones sólidas que se forman cuando los hidrocarburos del gas natural están en contacto con el agua líquida bajo ciertas condiciones de presión y temperatura.

Por otra parte, los hidrocarburos más pesados que el butano presentes en el gas natural, llamados comúnmente gasolina, también deben eliminarse, dado que condensan a lo largo de los conductos creando problemas en el transporte y su contenido afecta los límites establecidos para el poder calorífico del gas causando, de esta manera, inconvenientes a ciertos equipos que no están diseñados para operar bajo estas condiciones.

La Central Eléctrica CE-01 es una planta encargada de suministrar energía eléctrica para procesos de producción de crudos, específicamente para mecanismos de levantamiento artificial. Dicha planta está constituida por cinco motores, dos marca Cummins y tres marca Caterpillar, los cuales generan 1250 kW cada uno. Actualmente, estos equipos están presentando fallas, debido a la llegada de líquido a los mismos.

Por esta razón, en el presente trabajo se evaluarán las condiciones óptimas de alimentación del gas natural a la central eléctrica, con las cuales no se presenten problemas en los equipos de la planta.

Se conoce que en un futuro van a ser sustituidos los tres motores Caterpillar que están en funcionamiento, por tres motores Cummins, de los cuales dos generarán 1250 kW y otro generará 2000 kW. Además, se instalarán dos turbinas Taurus 60 Solar las cuales generarán, aproximadamente, unos 5000 kW cada una. Para este escenario futuro de la planta, se determinarán las condiciones óptimas del gas de alimentación de las turbinas y los motores, y se evaluarán las condiciones óptimas del sistema de gas combustible.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Evaluar las condiciones óptimas de alimentación del gas combustible a la Central Eléctrica CE-01.

1.2.2 Objetivos Específicos

Identificar los parámetros operacionales actuales del sistema de gas combustible.

Revisar la situación actual del sistema de gas combustible en la planta Central Eléctrica.

Definir un esquema futuro de operación de la Central Eléctrica.

Determinar las condiciones óptimas a las cuales operen las turbinas y motores en el escenario futuro.

Evaluar las condiciones óptimas para el escenario futuro del sistema de gas combustible en la Central Eléctrica.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 CENTRAL ELÉCTRICA

Una central es una instalación capaz de convertir la energía mecánica en eléctrica. Las principales fuentes para la generación de energía son: el agua (Energía Hidráulica), el gas natural, el petróleo y el carbón (Energía Termoeléctrica), así como el uranio (Energía Nuclear). Existen otras fuentes de uso menos común como la materia orgánica residual (Biomasa), el viento (Energía Eólica) y los rayos solares (Energía Solar). Estas fuentes de generación permiten el movimiento de una turbina por acción del agua o del vapor, la misma que a su vez hace girar un generador. Al moverse hace que a su vez gire la bobina en el interior de un campo magnético, produciéndose así la electricidad. Las centrales se pueden clasificar de acuerdo a la fuente de energía con la que generan electricidad. Así tenemos:

2.1.1 Centrales Hidroeléctricas

Son aquellas que generan electricidad a partir del uso del agua como fuerza motriz (Energía Hidráulica). Para ello, utiliza cuatro elementos fundamentales: el agua almacenada, la caída del agua, la turbina y el generador. Las aguas disponibles de las lagunas, ríos, o lagos se conducen a una represa, en donde se embalsan. Normalmente la represa se encuentra a mayor altura que la central de generación. Las aguas son conducidas a través de túneles y canales por toda la pendiente de caída y luego por una tubería de presión. Esta caída es la base fundamental de las centrales hidroeléctricas ya que, junto con la presión del agua, dan la potencia necesaria para mover las ruedas de las turbinas, las cuales empiezan a girar y mueven, a través de ejes, a los generadores.

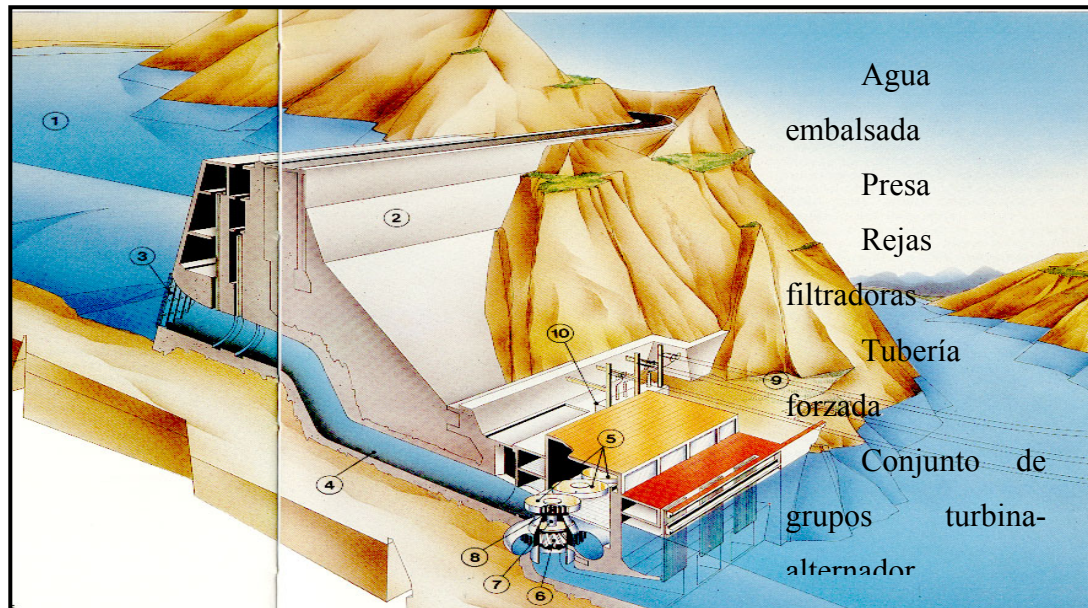


Figura 2.1 Esquema de una Central Hidroeléctrica

Tabla 2.1 Ventajas y desventajas de una Central Hidroeléctrica

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Es una energía limpia	Impresibilidad de las precipitaciones
No contaminante	Capacidad limitada de los embalses
Su transformación es directa	Impacto medioambiental en los ecosistemas
Es renovable	Costo inicial elevado (construcciones de grandes embalses)

	Riesgo debido a posible ruptura de la presa
--	---

2.1.2 Centrales Nucleares

El sistema más usado para generar energía nuclear utiliza el uranio como combustible. En concreto se usa el isótopo 235 del uranio que es sometido a fisión nuclear en los reactores. En este proceso el núcleo del átomo de uranio (U-235) es bombardeado por neutrones y se rompe originándose dos átomos de un tamaño aproximadamente mitad del de uranio y liberándose dos o tres neutrones que inciden sobre átomos de U-235 vecinos, que vuelven a romperse, originándose una reacción en cadena. La fisión controlada del U-235 libera una gran cantidad de energía que se usa en la planta nuclear para convertir agua en vapor. Con este vapor se mueve una turbina que genera electricidad.

El mineral de uranio se encuentra en la naturaleza en cantidades limitadas, es por tanto un recurso no renovable. El mineral del uranio contiene tres isótopos: U-238 (99,28%), U-235 (0,71%) y U-234 (menos que el 0,01%). Dado que el U-235 se encuentra en una pequeña proporción, el mineral debe ser enriquecido (purificado y refinado), hasta aumentar la concentración de U-235 a un 3%, haciéndolo así útil para la reacción.

Producción de electricidad en la central nuclear

Una central nuclear tiene cuatro partes:

El reactor en el que se produce la fisión.

El generador de vapor en el que el calor producido por la fisión se usa para hacer hervir agua.

La turbina que produce electricidad con la energía contenida en el vapor.

El condensador en el cual se enfría el vapor, convirtiéndolo en agua líquida.

La reacción nuclear tiene lugar en el reactor, en el están las agrupaciones de varillas de combustible intercaladas con unas decenas de barras de control que están hechas de un material que absorbe los neutrones. Introduciendo estas barras de control más o menos se controla el ritmo de la fisión nuclear ajustándolo a las necesidades de generación de electricidad.

En las centrales nucleares habituales hay un circuito primario de agua en el que esta se calienta por la fisión del uranio. Este circuito forma un sistema cerrado en el que el agua circula bajo presión, para que permanezca líquida a pesar de que la temperatura que alcanza es de unos 293°C.

Con el agua del circuito primario se calienta otro circuito de agua, llamado secundario. El agua de este circuito secundario se transforma en vapor a presión que es conducido a una turbina. El giro de la turbina mueve a un generador que es el que produce la corriente eléctrica. Finalmente, el agua es enfriada en torres de enfriamiento, o por otros procedimientos.

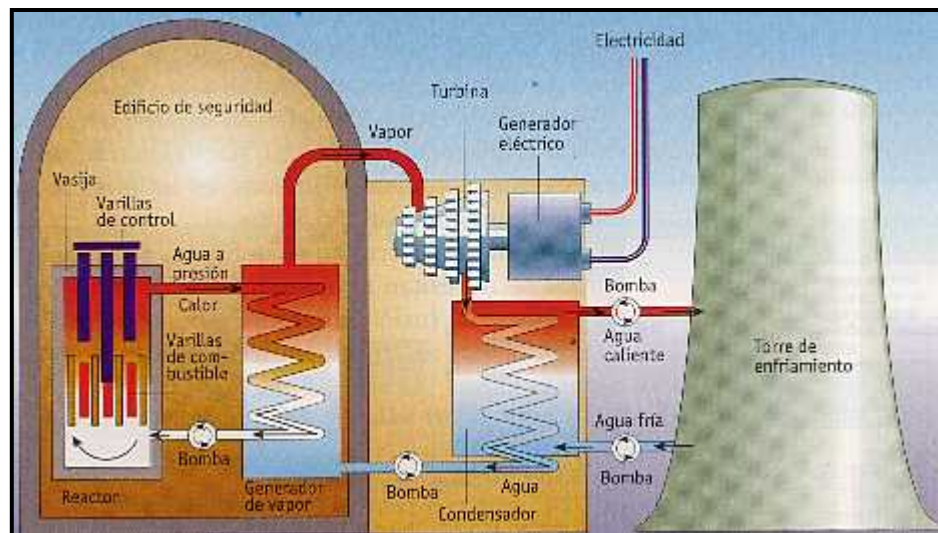
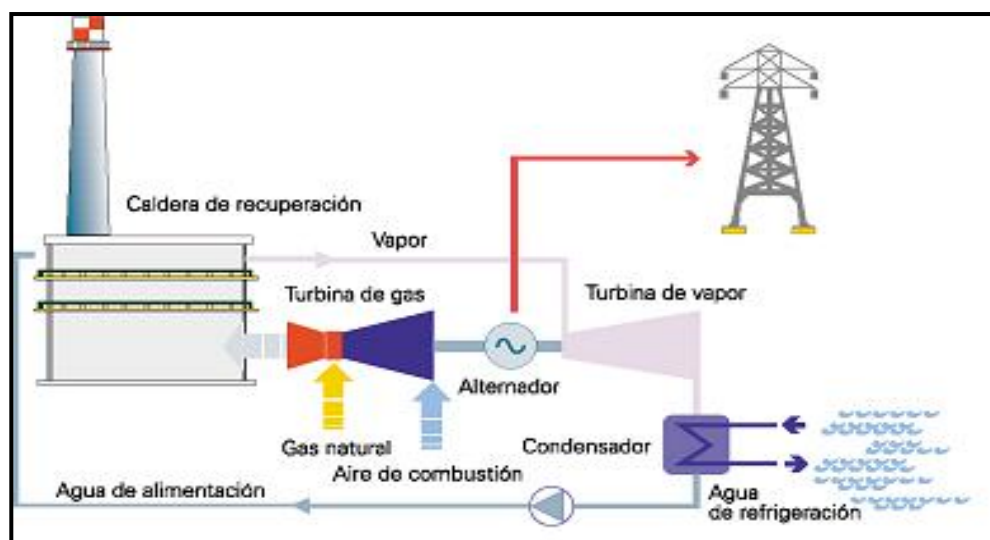


Figura 2.2 Esquema del funcionamiento de una central nuclear

2.1.3 Generación eléctrica con ciclos combinados de gas natural

La tecnología de generación eléctrica con ciclos combinados de gas natural es una de las más eficientes y con menor impacto ambiental, y está ya ampliamente extendida en todo el mundo. Es prácticamente la única tecnología utilizada en los nuevos proyectos de generación eléctrica que se están instalando en los países desarrollados, y un sistema que permitirá ir sustituyendo a los tradicionales, con la consiguiente reducción de emisiones a la atmósfera.

Esta tecnología consiste en utilizar la combustión del gas natural (turbina de gas) y el vapor que producen los gases de escape (caldera de recuperación y turbina de vapor) para generar electricidad. Estos dos procesos funcionan de manera complementaria, lo que permite alcanzar rendimientos energéticos muy elevados, ya que se obtiene electricidad en dos etapas utilizando una única fuente de energía.



La generación eléctrica con ciclos combinados representa, pues, el mejor modelo energético, ya que permite unos rendimientos más elevados que otros sistemas de generación eléctrica y, al mismo tiempo, reduce el impacto medioambiental, al utilizar una energía menos contaminante en un sistema más eficiente. Los grupos generadores de ciclos combinados tienen un rendimiento de más del 57%, muy superior al de una central convencional. Esto significa que por cada kilovatio hora de electricidad producida se necesita un tercio menos de energía primaria, es decir, de gas natural.

Destaca por sus bajas emisiones, que se reducen en un 60% en el caso del dióxido de carbono y en un 70% en el de los óxidos de nitrógeno, respecto a una central convencional. Además, las emisiones de dióxido de azufre y de partículas son prácticamente nulas. Concretamente, y según se recoge en el estudio "Impactos Ambientales de la Producción Eléctrica", publicado por el Instituto para la Diversificación y ahorro de Energía (IDAE), la generación de electricidad con gas natural tiene un menor impacto sobre el medio ambiente que los sistemas solar fotovoltaico, nuclear y los sistemas de generación con carbón, petróleo y lignito.

Además, los grupos generadores de ciclo combinado consumen solamente un tercio del agua de refrigeración que requiere una central convencional de la misma potencia y la instalación ocupa menos espacio que una central convencional.

2.1.4 Centrales Térmicas

Una central térmica para producción de energía eléctrica, es una instalación en donde la energía mecánica que se necesita para mover el rotor del generador y por tanto para obtener la energía eléctrica, se obtiene a partir del vapor formado al hervir el agua en una caldera. El vapor generado tiene una gran presión, y se hace llegar a las turbinas para que su expansión sea capaz de mover los alabes de las mismas.

Las denominadas termoeléctricas clásicas son de: carbón, de fuel o gas natural. En dichas centrales la energía de la combustión del carbón, fuel o gas natural se emplea para hacer la transformación del agua en vapor.

Una central térmica clásica se compone de una caldera y de una turbina que mueve al generador eléctrico. La caldera es el elemento fundamental y en ella se produce la combustión del carbón, fuel o gas.

2.1.5 Centrales eólicas

Se conoce como energía eólica al aprovechamiento por el hombre de la energía del viento. Antiguamente se utilizó para propulsar naves marinas y mover molinos de grano. Hoy se emplea sobre todo para generar energía limpia y segura.

Ventajas de la energía eólica

La energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático.

Es una de las fuentes más baratas, puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las centrales térmicas de carbón (considerado tradicionalmente como el combustible más barato), las centrales de combustible e incluso con la energía nuclear, si se consideran los costos de reparar los daños medioambientales.

Se suprimen radicalmente los impactos originados por los combustibles durante su extracción, transformación, transporte y combustión, lo que beneficia la atmósfera, el suelo, el agua, la fauna, la vegetación, etc.

Evita la contaminación que conlleva el transporte de los combustibles; gas, petróleo, gasoil, carbón y reduce el intenso tráfico marítimo y terrestre cerca de las centrales.

Suprime los riesgos de accidentes durante estos transportes: limpiezas y mareas negras de petroleros, traslados de residuos nucleares, etc.

No hace necesaria la instalación de líneas de abastecimiento: Canalizaciones a las refinerías o las centrales de gas.

La generación de electricidad a partir del viento no produce gases tóxicos, ni contribuye al efecto invernadero, ni destruye la capa de ozono, tampoco crea lluvia ácida.

La electricidad producida por un aerogenerador evita que se quemen diariamente miles de litros de petróleo y miles de kilogramos de lignito negro en las centrales térmicas.

Produce idéntica cantidad de energía que la obtenida por quemar diariamente 1.000 Kg. de petróleo, evita la emisión de 4.109 Kg. de CO₂, lográndose un efecto similar al producido por 200 árboles. Se impide la emisión de 66 Kg. de dióxido de azufre SO₂- y de 10 Kg. de óxido de nitrógeno -NO_x- principales causantes de la lluvia ácida.

La energía eólica es independiente de cualquier política o relación comercial, se obtiene en forma mecánica y por tanto es directamente utilizable.

Al finalizar la vida útil de la instalación, el desmantelamiento no deja huellas.

Desventajas de la energía eólica

El aire al ser un fluido de pequeño peso específico, implica fabricar máquinas grandes y en consecuencia caras.

Su altura puede igualar a la de un edificio de diez o más plantas, en tanto que la envergadura total de sus aspas alcanza la veintena de metros, lo cual encarece su producción.

Un impacto negativo es el ruido producido por el giro del rotor, pero su efecto no es más acusado que el generado por una instalación de tipo industrial de similar entidad, y siempre que estemos muy próximos a los molinos.

También ha de tenerse especial cuidado a la hora de seleccionar un parque si en las inmediaciones habitan aves, por el riesgo mortandad al impactar con las palas.

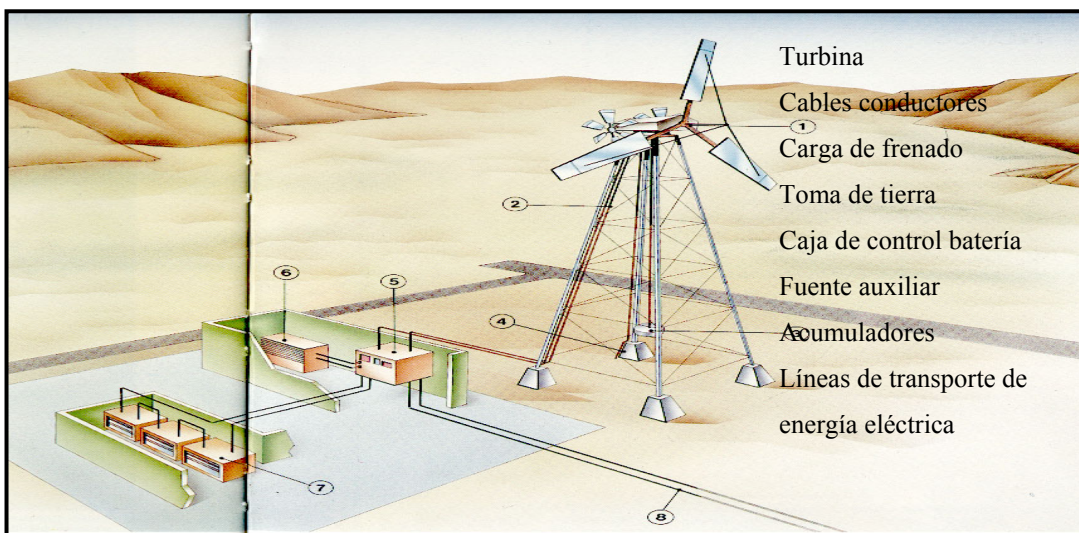


Figura 2.4 Esquema de funcionamiento de una Central Eólica

2.1.6 Centrales Solares

Una central solar es aquella instalación en la que se aprovecha la radiación solar para producir energía eléctrica.

Este proceso puede realizarse mediante dos vías:

Fotovoltaica. Se hacen incidir las radiaciones solares sobre una superficie de un cristal semiconductor, llamada célula solar, y producir en forma directa una corriente eléctrica por efecto fotovoltaico.

Este tipo de centrales se están instalando en países donde el transporte de energía eléctrica se debería de realizar desde mucha distancia, y hasta ahora su empleo es básicamente para iluminación, y algunas aplicaciones domésticas.



Figura 2.5 Central fotovoltaica

Fototérmica. En las centrales solares que emplean el proceso fototérmico, el calor de la radiación solar calienta un fluido y produce vapor que se dirige hacia la turbina produciendo luego energía eléctrica.

El proceso de captación y concentración de la radiación solar se efectúa en unos dispositivos llamados heliostatos, que actúan automáticamente para seguir la variación de la orientación del Sol respecto a la Tierra.

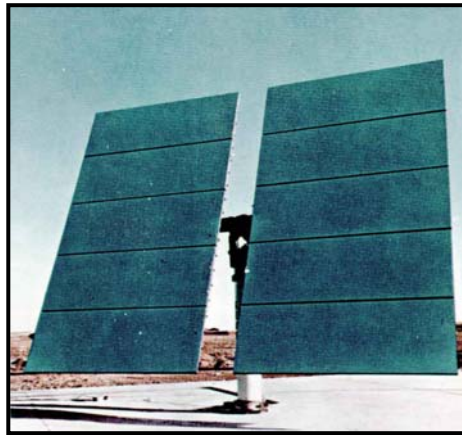


Figura 2.6 Central Fototérmica

Existen diversos tipos de centrales solares de tipo térmico, pero las más comunes son las de tipo torre, con un número grande de heliostatos. Para una central tipo de solo 10 MWe, la superficie ocupada por los heliostatos es de unas 20 Ha.

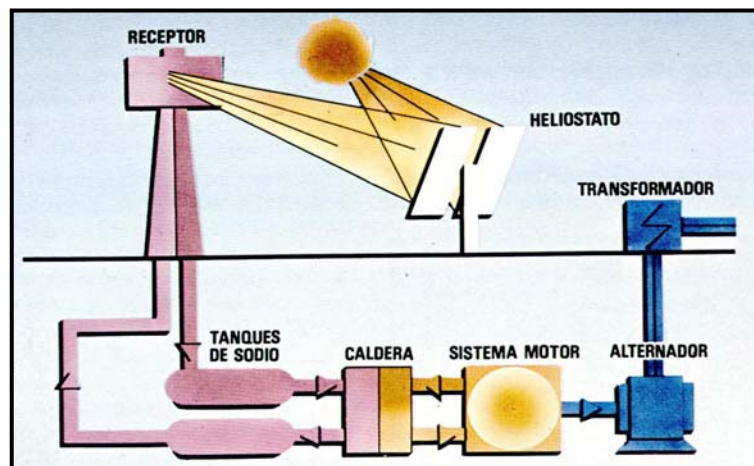


Figura 2.7 Esquema de funcionamiento de una Central Solar

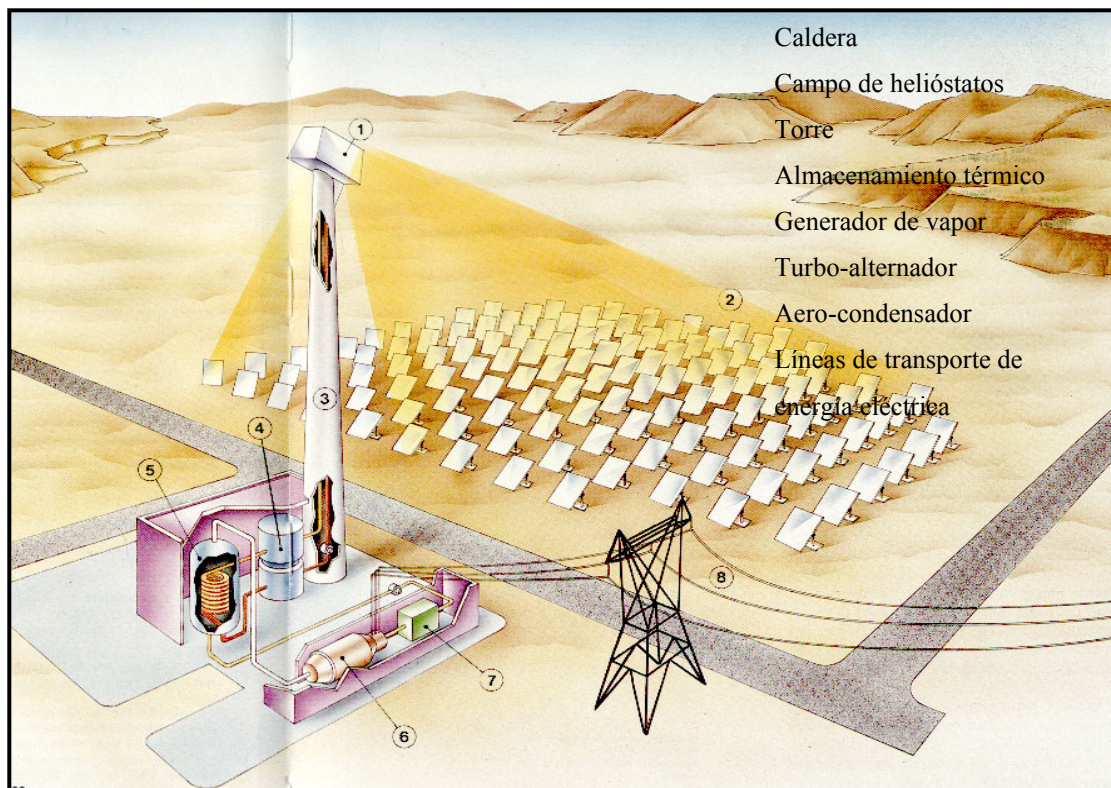


Figura 2.8 Central Eléctrica Solar

2.1.7 Central de biomasa

La biomasa es la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica; esa energía la puede ser recuperada por combustión directa o transformando la materia orgánica en otros combustibles.

Utilización de la biomasa

Bosques. La única biomasa realmente explotada en la actualidad para fines energéticos es la de los bosques. Para cubrir parte de la demanda energética sólo puede constituir una opción razonable en países donde la densidad territorial de dicha demanda es muy baja, así como también la de la población.

Residuos agrícolas y deyecciones y camas del ganado. Estos constituyen otra fuente importante de bioenergía, aunque no siempre sea razonable darles este tipo de utilidad.

Cultivos energéticos. Consiste en cultivar vegetales para la posibilidad del aprovechamiento de cultivos energéticos. Esta opción no es muy rentable. Es muy discutida la conveniencia de los cultivos o plantaciones con fines energéticos, no sólo por su rentabilidad en si mismos, sino también por la competencia que ejercerían con la producción de alimentos y otros productos necesarios, (madera, etc.) Las dudas aumentan en el caso de las regiones templadas, donde la asimilación fotosintética es inferior a la que se produce en zonas tropicales.

Ventajas de la utilización de biomasa

Favorece el reciclaje de residuos urbanos.

Contribuye a una mejor limpieza de los bosques y como consecuencia proviene incendios forestales.

Aprovecha ciertos terrenos que no son validos para otros cultivos.

Desventajas de la utilización de biomasa

Necesidad de grandes superficies de cultivo.

Tecnologías en desarrollo.

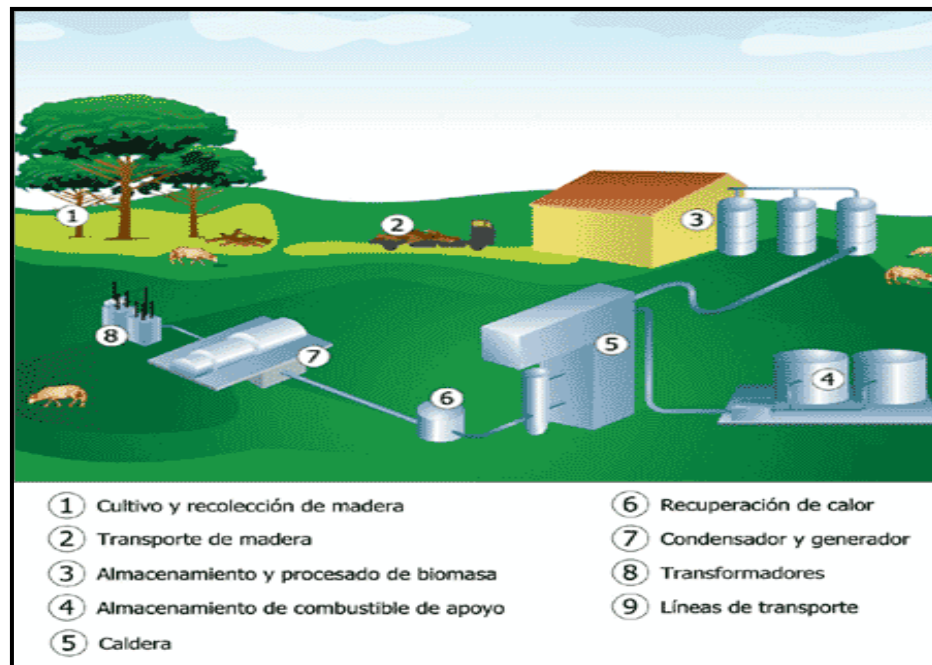


Figura 2.9 Esquema de una Central que utiliza Biomasa

2.2 GAS NATURAL

El gas natural extraído de los yacimientos es un producto incoloro e inodoro, no tóxico y más ligero que el aire. Procede de la descomposición de los sedimentos de materia inorgánica atrapada entre estratos rocosos y es una mezcla de hidrocarburos ligeros en la que el etano (CH_4) se encuentra en grandes proporciones, acompañado de otros hidrocarburos y gases cuya concentración depende de la localización del yacimiento. El gas natural es una energía eficaz, rentable y limpia, y por sus precios competitivos y su eficacia como combustible, permite alcanzar considerables economías a sus utilizadores.

2.2.1 Combustible eficiente

Como combustible, ofrece ventajas que sobrepasan las características, disponibilidad, eficiencia y manejo de otros combustibles y líquidos.

Es limpio. No produce hollín ni mugre. Por lo tanto, los equipos en que se usa como combustible no requieren mantenimiento especial.

Puede manejarse a presiones deseadas de entrega en los sitios de consumo.

Su poder calorífico y combustión son altamente satisfactorios.

Volumétricamente es susceptible a la compresión o expansión, en función a la relación presión-temperatura que se le desee imponer.

Puede ser transportado por sistemas de tuberías madres, troncales y ramales, especialmente diseñadas, que permiten mantener rangos de volúmenes a presiones deseadas.

Su entrega a clientes puede ser continua y directa a los artefactos donde debe consumirse, utilizando controles y reguladores, sin requerimientos de almacenaje en sitio o preocupación por volúmenes almacenados en el hogar, la oficina, el taller, la planta o fábrica.

La reversibilidad gas-líquido-gas lo hace apto para el envasado en pequeños y seguros recipientes, fáciles de manejar, transportar e instalar para suplir combustibles en sitios no servidos por red de tuberías de distribución.

Por su eficiencia y poder calórico, su costo por volumen es muy económico.

Las características de funcionamiento limpio y eficiente, su rendimiento y precio económico han logrado que cada día se expanda el mercado de Gas Natural para Vehículos (GNV). Se ha comprobado que como combustible el gas metano es muchísimo menos contaminante del ambiente que otros, como la gasolina y el diesel.

2.2.2 Sectores de utilización

El gas natural es una fuente de energía versátil que puede ser utilizada en ámbitos muy variados. La producción de calefacción y la generación de electricidad son sus principales usos tradicionales. En el futuro, la problemática de la protección del medio ambiente podría conducir a una mayor utilización del gas natural en el sector transporte.

Usuarios domésticos

Las aplicaciones domésticas son los usos del gas natural más comúnmente conocido. Se puede utilizar para cocinar, lavar, secar, calentar el agua, calentar una casa o climatizarla. Además, los electrodomésticos se mejoran día a día con el fin de utilizar el gas natural de forma más económica y segura. Los costos de mantenimiento del material que funciona con gas son generalmente más bajos que los de otras fuentes de energía.

Aplicaciones comerciales

Los principales usuarios comerciales de gas natural son los proveedores de servicios de comida, los hoteles, los equipamientos de servicios médicos y los edificios de oficinas. Las aplicaciones comerciales de gas natural incluyen la climatización (aire acondicionado y refrigeración), la cocina o la calefacción.

Industria

El gas natural es un input para la fabricación de la pasta de papel, del papel, de ciertos metales, productos químicos, piedras, arcilla, vidrio y en la transformación de ciertos alimentos. Puede ser igualmente utilizado para el reciclado de residuos, para la incineración, el secado, la deshumidificación, la calefacción, la climatización y la cogeneración.

Generación de electricidad

Las compañías de electricidad y los proveedores independientes de energía emplean cada vez más el gas natural para alimentar sus centrales eléctricas. Generalmente, las centrales que funcionan con gas natural tienen menores costes de capital, se construyen más rápidamente, funcionan con mayor eficacia y emiten menos polución atmosférica que las centrales que utilizan otros combustibles fósiles.

Los avances tecnológicos en materia de diseño, eficacia y utilización de turbinas de ciclo combinado, así como en los procesos de cogeneración, fomentan el empleo de gas natural en la generación de energía. Las centrales de ciclos combinados (CCGT) utilizan el calor perdido para producir más electricidad, mientras que la cogeneración del gas natural produce al mismo tiempo potencia y calor que son útiles tanto para las industrias como para los usuarios comerciales. Esta cogeneración reduce muy fuertemente las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

Vehículos de gas natural

El gas natural puede ser utilizado como combustible por los vehículos a motor de dos maneras: como gas natural comprimido (GNC), la forma más utilizada, o como gas licuado.

El parque automotriz que funciona con gas natural es aproximadamente de 1.5 millones de vehículos en todo el mundo (según la Asociación Internacional de Vehículos de Gas Natural). Las preocupaciones respecto de la calidad del aire en la mayor parte de las regiones del mundo refuerzan el interés por la utilización del gas natural en este sector. Se estima que los vehículos que utilizan este tipo de combustible emiten un 20% menos de gas con efecto de invernadero que los vehículos que funcionan con gasolina o con diesel. Contrariamente a lo que se piensa comúnmente, el empleo de gas natural en los vehículos motorizados no es una novedad, puesto que ya se utilizaban en los años 30. En muchos países, este tipo de vehículos es presentado como una alternativa a los autobuses, taxis y otros transportes públicos. El gas natural en vehículos es a la vez barato y práctico.

Pilas de combustible

La pila de combustible es un dispositivo electroquímico que permite combinar el hidrógeno y el oxígeno contenidos en el aire con el fin de producir electricidad, calor y agua. Las pilas de combustible funcionan sin combustión, por lo que casi no contaminan.

Una pila de combustible puede ser utilizada con rendimientos muchos más elevados que los motores de explosión pues el combustible es directamente transformado en electricidad y produce más energía a partir de la misma cantidad de combustible. La pila de combustible no posee ninguna pieza móvil, lo que la convierte en una fuente de energía relativamente silenciosa y segura. El gas natural es uno de los múltiples combustibles a partir del cual las pilas de combustible pueden funcionar.

2.3 MOTOR DE COMBUSTIÓN

De Wikipedia, la enciclopedia libre

[Saltar a navegación](#), [búsqueda](#)

Se denomina motor de combustión a un motor capaz de transformar en movimiento la energía proveniente de la combustión de sustancias adecuadas, denominadas combustibles.

Cuando la combustión se produce dentro de un recinto cerrado se denominan motores de combustión interna, normalmente utilizados en automóviles, motos, etcétera. También existen motores de combustión externa, que son los que mueven los aviones jet, de propulsión a chorro, a reacción, o más vulgarmente llamados "reactores".

En los de combustión interna tanto de ciclo Otto (cuatro tiempos) como en los de dos tiempos la explosión/inflamación se produce dentro de un recinto cerrado, denominado cámara de combustión, que tiene una parte móvil (en los motores más comunes se trata del pistón) que se desplaza dentro del cilindro con un movimiento lineal (como si fuera una bala dentro del cañón). El pistón está unido a un mecanismo de biela-cigüeñal para transformar el movimiento lineal en giratorio. En estos motores el aire y el combustible pueden venir mezclados desde el exterior, o bien puede entrar sólo aire y producirse la mezcla dentro de la propia cámara de combustión, a este tipo se le conoce como inyección directa.

Los motores de combustión externa se aprovechan también de la expansión de los gases generados por la inflamación del combustible; éste puede ser sólido (como un simple cohete de ferias, o como los que se utilizan para poner en órbita satélites), líquido (como los "reactores") y gaseoso (turbinas de gas en las centrales térmicas, o como los que se utilizan para los transbordadores espaciales).

Los motores de combustible sólido (como por ejemplo pólvora negra) al encenderse el chorro de gases en expansión sale a través de la tobera, de manera que por el principio de acción-reacción se obtendrá un empuje en sentido contrario. Los que ponen en órbita transbordadores, satélites, etc, llevan el combustible y el comburente (el aire en el caso de los coches, oxígeno a presión en este caso) en tanques separados, ambos se mezclarán en la cámara de combustión, y saldrán al exterior a través de la tobera.

Los motores de las centrales térmicas y los aviones son básicamente dos turbinas montadas sobre el mismo eje; la primera, al girar, centrifuga el aire enviándolo a presión a la cámara de combustión donde se encuentra el inyector y el encendedor; el primero se encarga de introducir el combustible lo más pulverizado y dispersado posible, y el segundo se encargara de iniciar la combustión. Al inflamarse la mezcla, esta se expande, siguiendo su camino hacia la segunda turbina a la que hará girar al incidir los gases sobre sus álabes (recordemos que las dos turbinas están unidas, por lo que el giro de ésta hará entrar más aire impulsado por la primera), y al salir al exterior por la tobera terminarán de expandirse los gases, generando el impulso en el caso de los aviones, o moviendo otra turbina unida a un generador eléctrico en el caso de las centrales térmicas.

2.3.1 Motor de combustión interna

Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión, la parte principal de un motor. Se utilizan motores de combustión interna de cuatro tipos:

El motor cíclico Otto, cuyo nombre proviene del técnico alemán que lo inventó, Nikolaus August Otto, es el motor convencional de gasolina que se emplea en automoción y aeronáutica.

El motor diesel, llamado así en honor del ingeniero alemán Rudolf Diesel, funciona con un principio diferente y suele consumir gasóleo. Se emplea en instalaciones generadoras de energía eléctrica, en sistemas de propulsión naval, en camiones, autobuses y automóviles. Tanto los motores Otto como los diesel se fabrican en modelos de dos y cuatro tiempos.

El motor rotatorio.

La turbina de combustión.

Los motores Otto y los diesel tienen los mismos elementos principales:

Cámara de combustión

La cámara de combustión es un cilindro, por lo general fijo, cerrado en un extremo y dentro del cual se desliza un pistón muy ajustado al interior. La posición hacia dentro y hacia fuera del pistón modifica el volumen que existe entre la cara interior del pistón y las paredes de la cámara. La cara exterior del pistón está unida por un eje al cigüeñal, que convierte en movimiento rotatorio el movimiento lineal del pistón.

En los motores de varios cilindros el cigüeñal tiene una posición de partida, llamada espiga de cigüeñal y conectada a cada eje, con lo que la energía producida por cada cilindro se aplica al cigüeñal en un punto determinado de la rotación. Los

cigüeñales cuentan con pesados volantes y contrapesos cuya inercia reduce la irregularidad del movimiento del eje. Un motor puede tener de 1 a 28 cilindros.

Sistema de bombeo

El sistema de bombeo de combustible de un motor de combustión interna consta de un depósito, una bomba de combustible y un dispositivo que vaporiza o atomiza el combustible líquido. Se llama carburador al dispositivo utilizado con este fin en los motores Otto. En los motores de varios cilindros el combustible vaporizado se conduce a los cilindros a través de un tubo ramificado llamado colector de admisión. Muchos motores cuentan con un colector de escape o de expulsión, que transporta los gases producidos en la combustión.



Figura 2.10 Correa o cadena de distribución

Sistema de alimentación

Cada cilindro toma el combustible y expulsa los gases a través de válvulas de cabezal o válvulas deslizantes. Un muelle mantiene cerradas las válvulas hasta que se abren en el momento adecuado, al actuar las levas de un árbol de levas rotatorio movido por el cigüeñal, estando el conjunto coordinado mediante la correa de

distribución. En la década de 1980, este sistema de alimentación de una mezcla de aire y combustible se ha visto desplazado por otros sistemas más elaborados ya utilizados en los motores diesel. Estos sistemas, controlados por computadora, aumentan el ahorro de combustible y reducen la emisión de gases tóxicos.



Figura 2.11 Válvulas y árbol de levas

Encendido

Todos los motores tienen que disponer de una forma de iniciar la ignición del combustible dentro del cilindro. Por ejemplo, el sistema de ignición de los motores Otto, existe un componente llamado bobina de encendido, el cual es un auto-transformador de alto voltaje al cual se le conecta un conmutador que interrumpe la corriente del primario para que se induzca la chispa de alto voltaje en el secundario. Dichas chispas están sincronizadas con la etapa de compresión de cada uno de los cilindros; la chispa es dirigida al cilindro específico de la secuencia utilizando un distribuidor rotativo y unos cables de grafito que dirigen la descarga de alto voltaje a la bujía. El dispositivo que produce la ignición es la bujía, un conductor fijado a la pared superior de cada cilindro.

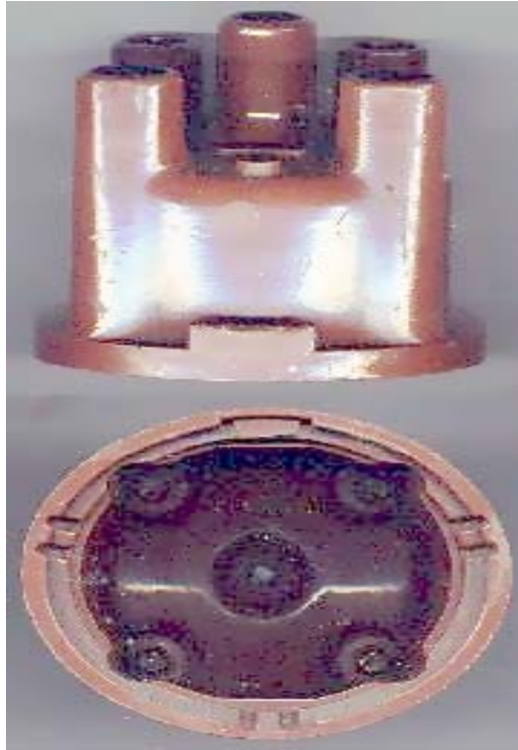


Figura 2.12 Tapa del distribuidor

Si la bobina está en mal estado se sobrecalienta; esto produce pérdida de energía, aminora la chispa de las bujías y causa fallos en el sistema de encendido del automóvil.

La bujía contiene en uno de sus extremos dos electrodos separados entre los que la corriente de alto voltaje produce un arco eléctrico que enciende el combustible dentro del cilindro.

Refrigeración

Dado que la combustión produce calor, todos los motores deben disponer de algún tipo de sistema de refrigeración. Algunos motores estacionarios de automóviles

y de aviones y los motores fueraborda se refrigeran con aire. Los cilindros de los motores que utilizan este sistema cuentan en el exterior con un conjunto de láminas de metal que emiten el calor producido dentro del cilindro. En otros motores se utiliza refrigeración por agua, lo que implica que los cilindros se encuentran dentro de una carcasa llena de agua que en los automóviles se hace circular mediante una bomba. El agua se refrigera al pasar por las láminas de un radiador. Es importante que el líquido que se usa para enfriar el motor no sea agua común y corriente porque los motores de combustión trabajan regularmente a temperaturas más altas que la temperatura de ebullición del agua, esto provoca una alta presión en el sistema de enfriamiento dando lugar a fallas en los empaques y sellos de agua así como en el radiador; se usa un anticongelante pues no hierve a la misma temperatura que el agua, si no a mucho más alta temperatura, tampoco se congelará a temperaturas muy bajas.

Otra razón por la cual se debe de usar un anticongelante es que este no produce sarro ni sedimentos que se adhieren en las paredes del motor y del radiador formando una capa aislante que disminuirá la capacidad de enfriamiento del sistema. En los motores navales se utiliza agua del mar para la refrigeración.

Sistema de arranque

Al contrario que los motores y las turbinas de vapor, los motores de combustión interna no producen un par de fuerzas cuando arrancan lo que implica que debe provocarse el movimiento del cigüeñal para que se pueda iniciar el ciclo. Los motores de automoción utilizan un motor eléctrico (el motor de arranque) conectado al cigüeñal por un embrague automático que se desacopla en cuanto arranca el motor. Por otro lado, algunos motores pequeños se arrancan a mano girando el cigüeñal con una cadena o tirando de una cuerda que se enrolla alrededor del volante del cigüeñal. Otros sistemas de encendido de motores son los iniciadores de inercia, que aceleran el volante manualmente o con un motor eléctrico hasta que tiene la velocidad suficiente

como para mover el cigüeñal; los iniciadores explosivos, que utilizan la explosión de un cartucho para mover una turbina acoplada al motor; oxígeno para alimentar las cámaras de combustión en los primeros movimientos (grandes motores). Los iniciadores de inercia y los explosivos se utilizan sobre todo para arrancar motores de aviones.

2.3.2 Tipos de motores de combustión interna

Motor convencional del tipo Otto

El motor convencional del tipo Otto es de cuatro tiempos. La eficiencia de los motores Otto modernos se ve limitada por varios factores, entre otros la pérdida de energía por la fricción y la refrigeración.

En general, la eficiencia de un motor de este tipo depende del grado de compresión. Esta proporción suele ser de 8 a 1 o 10 a 1 en la mayoría de los motores Otto modernos. Se pueden utilizar proporciones mayores, como de 12 a 1, aumentando así la eficiencia del motor, pero este diseño requiere la utilización de combustibles de alto índice de octano. La eficiencia media de un buen motor Otto es de un 20 a un 25%: sólo la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica.

Motores diesel

En teoría, el ciclo diesel difiere del ciclo Otto en que la combustión tiene lugar en este último a volumen constante en lugar de producirse a una presión constante. La mayoría de los motores diesel tienen también cuatro tiempos, si bien las fases son diferentes de las de los motores de gasolina.

En la primera fase se absorbe aire hacia la cámara de combustión. En la segunda fase, la fase de compresión, el aire se comprime a una fracción de su volumen original, lo cual hace que se caliente hasta unos 440 °C. Al final de la fase de compresión se inyecta el combustible vaporizado dentro de la cámara de combustión, produciéndose el encendido a causa de la alta temperatura del aire. En la tercera fase, la fase de potencia, la combustión empuja el pistón hacia atrás, transmitiendo la energía al cigüeñal. La cuarta fase es, al igual que en los motores Otto, la fase de expulsión.

Algunos motores diésel utilizan un sistema auxiliar de ignición para encender el combustible para arrancar el motor y mientras alcanza la temperatura adecuada.

La eficiencia de los motores diésel depende, en general, de los mismos factores que los motores Otto, y es mayor que en los motores de gasolina, llegando a superar el 40%. Este valor se logra con un grado de compresión de 14 a 1, siendo necesaria una mayor robustez, y los motores diésel son, por lo general, más pesados que los motores Otto. Esta desventaja se compensa con una mayor eficiencia y el hecho de utilizar combustibles más baratos.

Los motores diesel suelen ser motores lentos con velocidades de cigüeñal de 100 a 750 revoluciones por minuto (rpm o r/min), mientras que los motores Otto trabajan de 2.500 a 5.000 rpm. No obstante, en la actualidad, algunos tipos de motores diesel trabajan a velocidades similares que los motores de gasolina, pero por lo general con mayores cilindradas debido al bajo rendimiento del gasoil respecto al diesel.

Motor de dos tiempos

Con un diseño adecuado puede conseguirse que un motor Otto o diesel funcione a dos tiempos, con un tiempo de potencia cada dos fases en lugar de cada cuatro fases. La eficiencia de este tipo de motores es menor que la de los motores de cuatro tiempos, pero al necesitar sólo dos tiempos para realizar un ciclo completo, producen más potencia que un motor cuatro tiempos del mismo tamaño.

El principio general del motor de dos tiempos es la reducción de la duración de los periodos de absorción de combustible y de expulsión de gases a una parte mínima de uno de los tiempos, en lugar de que cada operación requiera un tiempo completo.

El diseño más simple de motor de dos tiempos utiliza, en lugar de válvulas de cabezal, las válvulas deslizantes u orificios (que quedan expuestos al desplazarse el pistón hacia atrás). En los motores de dos tiempos la mezcla de combustible y aire entra en el cilindro a través del orificio de aspiración cuando el pistón está en la posición más alejada del cabezal del cilindro. La primera fase es la compresión, en la que se enciende la carga de mezcla cuando el pistón llega al final de la fase. A continuación, el pistón se desplaza hacia atrás en la fase de explosión, abriendo el orificio de expulsión y permitiendo que los gases salgan de la cámara.

Motor Wankel

En la década de 1950, el ingeniero alemán Félix Wankel completó el desarrollo un motor de combustión interna con un diseño revolucionario, actualmente conocido como Motor Wankel. Utiliza un rotor triangular-lobular dentro de una cámara ovalada, en lugar de un pistón y un cilindro.

La mezcla de combustible y aire es absorbida a través de un orificio de aspiración y queda atrapada entre una de las caras del rotor y la pared de la cámara.

La rotación del rotor comprime la mezcla, que se enciende con una bujía. Los gases se expulsan a través de un orificio de expulsión con el movimiento del rotor. El ciclo tiene lugar una vez en cada una de las caras del rotor, produciendo tres fases de potencia en cada giro.

El motor de Wankel es compacto y ligero en comparación con los motores de pistones, por lo que ganó importancia durante la crisis del petróleo en las décadas de 1970 y 1980. Además, funciona casi sin vibraciones y su sencillez mecánica permite una fabricación barata. No requiere mucha refrigeración, y su centro de gravedad bajo aumenta la seguridad en la conducción. No obstante salvo algunos ejemplos prácticos como algunos vehículos Mazda, ha tenido problemas de durabilidad.

Motor de carga estratificada

Una variante del motor de encendido con bujías es el motor de carga estratificada, diseñado para reducir las emisiones sin necesidad de un sistema de recirculación de los gases resultantes de la combustión y sin utilizar un catalizador.

La clave de este diseño es una cámara de combustión doble dentro de cada cilindro, con una antecámara que contiene una mezcla rica de combustible y aire mientras la cámara principal contiene una mezcla pobre. La bujía enciende la mezcla rica, que a su vez enciende la de la cámara principal. La temperatura máxima que se alcanza es suficiente como para impedir la formación de óxidos de nitrógeno, mientras que la temperatura media es la suficiente para limitar las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos.

2.4 TURBINAS DE VAPOR

Una turbina de vapor es una turbomáquina que transforma la energía de un flujo de vapor de agua en energía mecánica. Este vapor se genera en una caldera, de la que sale en unas condiciones de elevada temperatura y presión. En la turbina se transforma la energía interna del vapor en energía mecánica que, típicamente, es aprovechada por un generador para producir electricidad.

De Wikipedia, la enciclopedia libre

[Saltar a navegación](#), [búsqueda](#)



Figura 2.13 Rotor de una turbina de vapor producida por Siemens

Al pasar por las toberas de la turbina, se reduce la presión del vapor (se expande) aumentando así su velocidad. Este vapor a alta velocidad es el que hace que los álabes móviles de la turbina giren alrededor de su eje al incidir sobre los mismos. Por lo general una turbina de vapor posee más de un conjunto tobera-álabe (o *etapa*), para aumentar la velocidad del vapor de manera gradual. Esto se hace ya que por lo general el vapor de alta presión y temperatura posee demasiada energía térmica y, si ésta se convierte en energía cinética en un número muy reducido de etapas, la velocidad periférica o tangencial de los discos puede llegar a producir fuerzas centrífugas muy grandes causando fallas en la unidad.

En una turbina se pueden distinguir dos partes, el rotor y el estator. El rotor está formado por ruedas de álabes unidas al eje y que constituyen la parte móvil de la turbina. El estator también está formado por álabes, no unidos al eje sino a la carcasa de la turbina.

Atendiendo a donde se realiza la expansión del vapor se distinguen dos tipos de turbinas: de acción o de reacción.

En las turbinas de acción la expansión del vapor se realiza en el estator perdiendo presión y aumentando su velocidad hasta pasar al rotor donde la presión se mantendrá constante y se reducirá su velocidad al incidir sobre los álabes.

Por el contrario, en las turbinas de reacción el vapor se expande en el rotor, manteniéndose la presión y velocidad constantes al pasar por el estator, que en este caso sólo sirve para dirigir y orientar el flujo de vapor.

2.4.1 Clasificación de las turbinas

Existen turbinas de vapor en una gran variedad de tamaños, desde unidades de 1 hp (0.75 kW) usadas para accionar bombas, compresores y otro equipo accionado por flecha, hasta turbinas de 2.000.000 hp (1.500.000 kW) utilizadas para generar electricidad. Existen diversas clasificaciones para las turbinas de vapor moderna. Estas categorías incluyen turbinas condensadoras, no condensadoras, de recalentamiento, extracción e inducción.

Las turbinas de no condensación o de contrapresión son más ampliamente usadas para aplicaciones de vapor en procesos. La presión de salida es controlada por una válvula reguladora para satisfacer las necesidades de presión en el vapor del proceso. Se encuentran comúnmente en refinerías, plantas de papel y pulpa y en

instalaciones de desalinización, donde se dispone de grandes cantidades de vapor de proceso a baja presión.

Las turbinas condensadoras se encuentran comúnmente en plantas de potencia eléctrica. Estas turbinas expelen vapor en estado parcialmente saturado, generalmente con calidad mayor al 90%, a una presión bastante inferior a la atmosférica hacia un condensador.

Las turbinas de recalentamiento también son usadas casi exclusivamente en plantas de potencia eléctrica. En una turbina de recalentamiento, el flujo de vapor sale de una sección a alta presión de la turbina y es regresado a la caldera donde se le vuelve a sobrecalentar. El vapor entonces regresa a una sección de presión intermedia de la turbina y continúa su expansión.

Las turbinas de extracción se encuentran en todo tipo de aplicaciones. En una turbina de extracción, el vapor es liberado en diversas etapas y aprovechado en distintos procesos industriales, también puede ser enviado a calentadores de agua para mejorar la eficiencia del ciclo.

Los fluidos extraídos pueden ser controlados mediante una válvula o pueden no controlarse. Las turbinas de inducción introducen vapor a baja presión en una etapa intermedia para producir potencia adicional.

2.5 TAMICES MOLECULARES

Los tamices moleculares son, desde el punto de vista químico, silicatos aluminio y están disponibles en el mercado en forma de pastillas (1/16" a un 1/8"), como en forma de polvo (10 micrones).

2.5.1 Características de los tamices moleculares

Están diseñados para retener adsorbatos (elementos adsorbibles) por fuerzas físicas más que por químicas; en otras palabras, cuando la molécula adsorbida es posteriormente liberada por la aplicación de calor, el cristal queda en el mismo estado químico que estaba antes de la adsorción.

La desorción de agua en los tamices es un proceso reversible siempre que no ocurra condensación de hidrocarburos pesados de punto de burbujeo muy elevado, caso en el cual el lecho podría perder parcialmente su capacidad para deshidratar.

La superficie externa de los cristales está disponible para la adsorción de moléculas de todos los tamaños, mientras que la superficie interna es alcanzable sólo por aquellas moléculas cuyo tamaño sea suficientemente pequeño como para pasar por los poros. Para tener una idea de la estructura del cristal, basta decir que el área externa es sólo 1% del área total.

Los tamices moleculares no sólo adsorben moléculas basados en tamaño y configuración, sino también en polaridad y grado de saturación.

En una mezcla de moléculas capaces de pasar a través de los poros, la menos volátil, la más polar o la más insaturada será más fuertemente adsorbida que las demás.

La fuerza de adsorción de los tamices moleculares se debe principalmente a los cationes que forman parte del retículo cristalino. Estos cationes (Na, Ca), actúan como puntos de fuerte carga positiva que atraen electrostáticamente los extremos negativos de las moléculas polares; a mayor momento dipolar de una molécula, más fuertemente será absorbida. Ejemplo de tales moléculas son aquellas que contienen

átomos de O_2 , S, C_1 ó N_2 . Son asimétricas; en consecuencia un tamiz molecular adsorberá el CO (molécula dipolar), antes que el argón (molécula no polar), por citar un ejemplo. También puede ocurrir que esos puntos de fuerte carga positiva induzcan dipolo en otras moléculas, ocurriendo una adsorción posterior; mientras más insaturada es una molécula, más polarizable es y, por lo tanto, más fácil será adsorbida. Así, un tamiz molecular adsorberá etileno, una molécula insaturada de un hidrocarburo saturado. Por estas propiedades, los tamices son utilizados para eliminar contaminantes indeseables en determinadas sustancias. El proceso en el cual se emplean con mayor frecuencia es en la deshidratación del gas natural, no obstante, dentro del mismo recipiente se acostumbra a colocar camadas para retener el mercurio o el sulfuro de hidrógeno.

En los tamices moleculares la cantidad del compuesto adsorbido aumenta rápidamente a un valor de saturación a medida que se incrementa la concentración de dicho compuesto en la fase externa del tamiz. Cualquier incremento adicional en la concentración a temperatura constante no ocasiona aumento en el monto adsorbido; ese equilibrio normalmente indica que se han llenado completamente los espacios vacíos del cristal.

2.5.2 Consideraciones básicas sobre el diseño de un deshidratador con desecantes secos (sólidos)

Algunas consideraciones generales que deben tomarse en cuenta al diseñar lechos de desecantes sólidos destinados a deshidratar gas natural son:

Temperatura de contacto

La temperatura de contacto afecta considerablemente la capacidad de los tamices, es decir, la cantidad de adsorbato que pueden retener; a mayor temperatura

de contacto, menor es la cantidad de agua absorbible. El rango usual de temperatura de deshidratación con un desecante sólido es entre 80 y 100°F aunque dependiendo del proceso, ella puede variar.

Presión de operación

La presión tiene efecto despreciable sobre la capacidad, no obstante el diseñador no debe olvidar que a mayor presión, menor será el volumen ocupado por el gas, así como, la cantidad de agua que puede transportar el gas que entra a la planta. Esto puede indicar, que desde ángulo, las presiones bajas aumentan el tamaño de los equipos mientras que las altas presiones aumentan el espesor de los recipientes.

Tiempo de contacto

Es recomendable que el tiempo de contacto se ajuste a los requerimientos del tamiz para garantizar el descenso programado del punto de rocío; esto se logra con una velocidad apropiada en el fluido. Por otro lado, hay que tomar en cuenta la caída de presión en el lecho que inducirá las altas velocidades pues, se podrían romper las partículas del tamiz hasta formar una masa compacta sin capacidad de adsorción. Se suele utilizar una velocidad del gas de 30 a 45 ft/min.

Tamaño de las partículas del tamiz

Para un mismo tipo de material, a medida que se reduce el tamaño de la partícula, se incrementa la superficie adsorción y por lo tanto la capacidad, pero también aumenta la caída de presión a través del lecho.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Es la fase inicial del proyecto y comprende la consulta de material bibliográfico relacionado con el tema en estudio: textos, tesis de grado, informes técnicos, normas, manuales, etc., con la finalidad de conocer los conceptos fundamentales que contribuirán con el desarrollo de los objetivos planteados.

3.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES DEL SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE DE LA PLANTA

La Central Eléctrica CE-01 es una planta que genera energía eléctrica producida por unos motores-generadores, la cual tiene como función surtir de dicha energía a procesos de producción de pozos, en este caso específicamente de levantamiento artificial. Actualmente, la planta está alimentada por un flujo de gas de 1,314 MMPCND a 435 psi y 60°F, el cual se hace pasar a través de unos separadores, con el fin de eliminarle la mayor cantidad de agua que éste presenta en su composición, y además pasa por unas válvulas las cuales le regulan la presión, hasta la presión requerida de entrada a los motores.

En esta etapa se utilizó la información bibliográfica obtenida para determinar las condiciones a las cuales operan actualmente y en el escenario futuro los equipos de la planta, tales como: flujos de gas requeridos por cada uno de los motores y turbinas, temperatura y presión a la cual deben llegar estos flujos de gas a dichos equipos.

Tabla 3.1 Composición del gas combustible que alimenta a la planta

COMPONENTE	FRACCIÓN MOLAR
Metano	0.864789
Etano	0.043689
Propano	0.023003
i-Butano	0.009454
n-Butano	0.012180
i-Pentano	0.007820
n-Pentano	0.004323
n-Hexano	0.008321
Nitrógeno	0.017041
Dióxido de Carbono	0.005312
Agua	0.004068

3.2.1 Consumo de gas combustible de los motores Caterpillar

La planta Central Eléctrica CE-01 cuenta con tres motores marca *Caterpillar* los cuales generan 1250 kW cada uno. Según los datos del fabricante la eficiencia de estos motores es de 110,29 kW. h/MPC de gas. De acuerdo a esta información se puede calcular el flujo de gas que requiere cada motor para una carga completa de combustible, y viene dado por la siguiente expresión:

$$F = \frac{G}{E} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

F = Flujo de gas requerido por el motor (PCD).

G = Generación eléctrica del motor (kW).

E = Eficiencia del motor (kW.h/MPC).

3.2.2 Consumo de gas combustible de los motores Cummins

La planta Central Eléctrica CE-01 cuenta además, con dos motores marca *Cummins* los cuales generan, de igual manera que los motores anteriormente citados, 1250 kW. Estos equipos requieren consumir 11,73 MMBtu/h al estar cargados completamente de acuerdo a la información suministrada por el fabricante. Conociendo dicha información, se procedió a determinar el poder calorífico del gas de alimentación debido a que se conocía su composición. De esta manera se realizó el cálculo del flujo de gas que requieren cada uno de estos motores, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$F = \frac{E}{PCg} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Donde:

F = Flujo de gas requerido por el motor (PCD).

E = Energía del gas requerida para una carga completa del motor (MMBtu/h).

PCg = Poder Calorífico del gas (MMBtu/ft³).

El gas que alimenta a estos motores (*Caterpillar* y *Cummins*) debe haber pasado por un proceso de acondicionamiento hasta ciertas condiciones de presión y temperatura que vienen dadas en las especificaciones de dichos equipos. Estas condiciones deben cumplirse para que éstos no presenten fallas.

3.2.3 Consumo de gas combustible de las turbinas Taurus 60 Solar

La planta, en el escenario futuro, cuenta con dos turbinas Taurus 60 Solars y cada una de ellas genera aproximadamente unos 5000 kW. Para determinar el flujo de gas combustible requerido por cada una de estas turbinas fue necesario calcular el valor de la cantidad de energía que ellas requieren para generar dicha cantidad de energía para lo cual se utilizó la figura B.1 (ver anexos), obteniéndose un valor aproximado de 58 MMBtu/h.

Como se sabe, en este escenario futuro de la planta el gas combustible posee la misma composición que en la situación actual, por lo que el poder calorífico de este gas sigue siendo el mismo ($1,174 \times 10^{-3}$ MMBtu/ft³). Ya conociendo estos dos parámetros se puede realizar el cálculo del requerimiento de gas combustible de cada una de estas turbinas mediante la (Ec. 3.2).

Estas turbinas son más sensibles que los motores a la temperatura de entrada del gas, de acuerdo a sus especificaciones; éstas requieren que la temperatura de entrada sea 50° superior a la temperatura de rocío del gas y además, trabajan a presiones entre los 170 y 220 psi.

3.3 EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y DEL ESCENARIO FUTURO DEL SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE EN LA PLANTA

Luego de conocer los flujos de gas requeridos por cada uno de los motores, se procedió a realizar simulaciones para estudiar las condiciones a las cuales están trabajando los equipos de la planta actualmente.

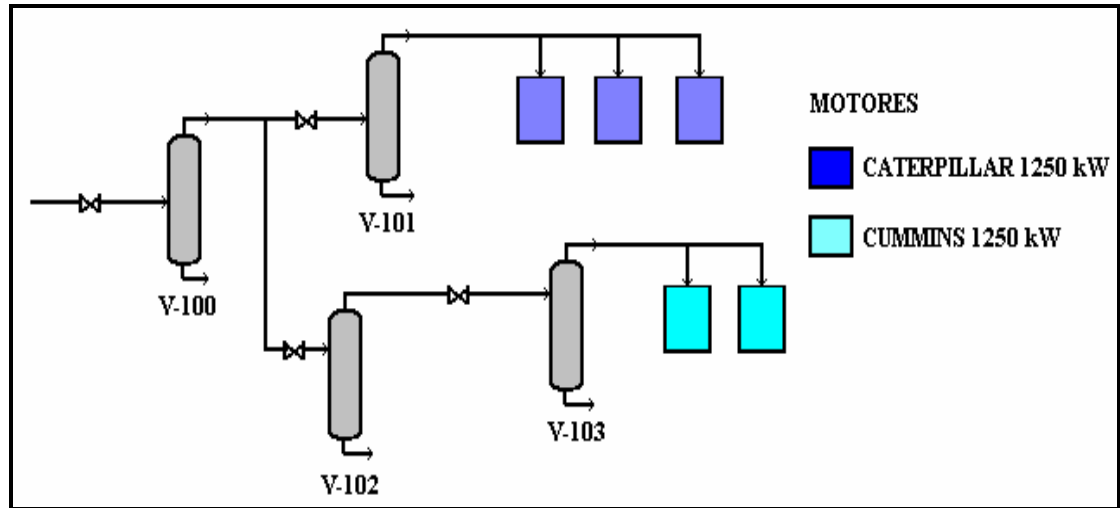


Figura 3.1 Esquema actual de la planta

Actualmente la planta recibe gas a 60°F y a 435 psi, luego pasa por un proceso de separación a través de una serie de depuradores para disminuirle el contenido de agua. Se le regula la presión a 250 psi para entrar a una serie de depuradores, luego se vuelve a regular la presión a 100 psi antes de alimentar a cada grupo de motores, aquí la planta presenta problemas.

Luego se procedió a reestructurar el esquema de la Central Eléctrica CE-01 debido a que actualmente el proceso de separación con el que ella cuenta no está trabajando eficientemente, ya que se verificó que con el sistema de gas combustible que trabaja la planta actualmente presenta fallas.

Por tal motivo se diseñó una planta de acondicionamiento la cual esta provista por una torre de deshidratación con desecantes sólidos (tamices moleculares) y de un calentador indirecto tipo baño de maría, el cual calienta la corriente de gas que sale de la torre de deshidratación hasta la temperatura que requieren los equipos. Además se sustituyeron algunos de los motores existentes por un grupo de turbinas y otros motores que generan mayor energía.

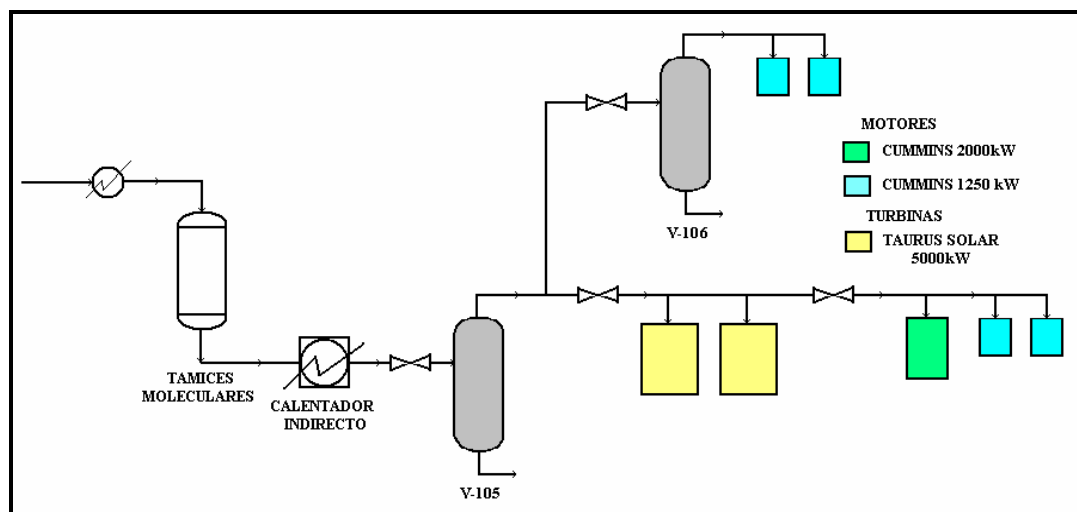


Figura 3.2 Esquema futuro de la Central Eléctrica CE-01

3.4 EJECUCIÓN DE LAS SIMULACIONES DEL PROCESO

La simulación de procesos se ha convertido en los últimos años en una herramienta fundamental para el diseño, evaluación y optimización de los diferentes procesos encontrados en la industria del petróleo y gas, desde su producción hasta su comercialización. La existencia en el mercado de una gran variedad de paquetes de computación para la simulación de procesos, cada vez con mayor capacidad para simular cualquier tipo de proceso, por más complejo que éste sea y con interfaz usuario-simulador más amigable, permite al ingeniero de procesos incorporar estas

herramientas de cálculos en su trabajo cotidiano, dándole así un uso imprescindible y frecuente en su área, que redundará en un mejoramiento de su productividad y tiempo de respuesta.

La simulación de procesos es una técnica que permite predecir en forma rápida y confiable el comportamiento de un proceso o planta, a partir de una representación matemática y realista del mismo. La simulación sirve de apoyo en:

El diseño de nuevas unidades y procesos, así como también en el análisis de opciones en el diagrama de flujo del proceso ó de sensibilidades de parámetros claves en el mismo (calidad de gas, condiciones de operación, flujos de alimentación, especificaciones de productos, etc.)

La readaptación de equipos existentes, a fin de mejorar su funcionamiento, darles nuevos usos o ampliar sus capacidades.

En la operación de plantas ó unidades, afectadas por cambios de alimentaciones, nuevas especificaciones de productos, ineficiencia energética, etc., lo cual induce a elaborar estudios de conservación ó aprovechamiento óptimo de la energía, y en general, de optimización del proceso.

En una simulación se requiere de la información necesaria sobre el proceso, corrientes y equipos de la planta que se desean simular. Se hace necesario planificar un muestreo de las corrientes influyentes del proceso, elaborar un registro diario de los datos operacionales y preparar un diagrama de flujo del proceso a simular. Generalmente, un simulador está organizado de tal forma que cada equipo, proceso físico o termodinámico está representado por un modelo matemático equivalente a un módulo de cálculo donde se efectúan los balances de materia y energía de cada

equipo, de acuerdo a una secuencia indicada por el usuario o establecida automáticamente por el simulador.

Finalmente, se puede decir que un simulador es un programa que predice el comportamiento de un proceso a partir de un modelo adecuado previamente analizado, que incluye: ecuaciones de transferencia de calor, sistema termodinámico adecuado, modelos de propiedades de transporte y de las características de construcción del mismo. La exactitud con la cual el programa produce los resultados dependerá básicamente de la fidelidad de los modelos matemáticos y sus limitaciones teóricas, los métodos numéricos y la confiabilidad de los valores de las variables de entrada.

3.4.1 Descripción del simulador de procesos Hysys Plant

Es una herramienta que modela procesos para simulación en estado estacionario, diseño, supervisión de funcionamiento, optimización y planificación para negocios de producción de crudo, industrias de procesamiento del gas natural y refinación de petróleo.

Proporciona una solución en modelo de procesos intuitiva e interactiva que permite crear los modelos en estado estacionario para diseño de una planta, supervisión de funcionamiento, localización de averías, etc.

3.4.2 Características del simulador

Ambiente fácil de utilizar en Windows. El DFP (Diagrama de flujo del proceso) suministra una representación gráfica clara y concisa del diagrama de proceso. Incluyendo características productivas tales como: cortar, copiar, pegar, autoconexión, entre otros.

Extensos fundamentos termodinámicos. Asegura el cálculo exacto de propiedades físicas, propiedades de transporte y del comportamiento de fase para procesos de la industria del gas y refinación de petróleo. Contiene una extensa base de datos de componentes y la capacidad de agregar más componentes para ser utilizados.

Conformidad con Active X (Automatización OLE). Permite la integración de operaciones creadas por el usuario en la unidad, expresiones propietarias de las reacciones cinéticas y los paquetes de propiedades especializados. Interactúa fácilmente con programas como Microsoft Excel y Visual Basic.

Comprensión de las operaciones unitarias. Incluye la destilación, reacciones, operaciones de transferencia de calor, equipos rotativos, operaciones lógicas en estado estacionario y ambiente dinámico.

Diseño y clasificación detallado de los intercambiadores de calor. Los usuarios opcionalmente pueden vincularse a las herramientas rigurosas del diseño y clasificación de los intercambiadores de calor, tales como: intercambiadores de tubos y carcasa, intercambiadores de pasos múltiples y enfriadores de aire.

Evaluación económica de diseños de procesos. Los modelos de simulación de HYSYS pueden realizar evaluaciones económicas para gerencias de proyectos de diseños de procesos. Esta tecnología es útil para operaciones unitarias, costos de los equipos y del proceso.

Los modelos de simulación HYSYS agilizan el proceso por anticipado en trabajos de ingeniería, da lugar al incremento en la eficiencia, calidad y un tiempo del ciclo de proyecto reducido, concede la flexibilidad máxima y el poder a sus usuarios

para utilizar una arquitectura abierta que permita capacidades específicas a la industria para ser fácilmente añadidas por su proveedor o terceros. Las herramientas de gran alcance de la simulación son: el análisis, las aplicaciones en tiempo real y el acercamiento integrado a las soluciones de ingeniería permitiendo a las industrias mejorar diseños, optimizar la producción y mejoras de decisiones para la fabricación. Algunas ventajas claves de HYSYS son: diseños mejorados del proceso, supervisión de funcionamiento de los equipos y reducción de los costos de ingeniería.

Luego de recopilar la información acerca de las especificaciones de los equipos presentes en la planta, se realizaron dos simulaciones empleando el simulador de procesos HYSYS plant versión 3.1, mediante las cuales se determinaron las condiciones de operación actuales de la planta para verificar que el flujo de gas de alimentación de los equipos ocasionaba fallas en los mismos.

En función de estos resultados se reestructuró el esquema de operación de la planta para lo cual se realizó otra simulación, determinándose de esta las condiciones a las cuales se debe regir el diseño de los equipos para que la planta opere de manera óptima.

3.4.3 Simulación de la situación actual de la planta

Para evaluar las condiciones actuales del sistema de gas combustible de la planta fue necesario utilizar un simulador de procesos. El simulador empleado fue HYSYS versión 3.1.

Se simuló el tratamiento actual que se le da al gas que entra a la planta. El gas entra a la planta a 60°F y 435 psi, se le tumba la presión hasta 235 psi para que entre al depurador V-100 en el cual se le retira cierta cantidad de agua. Luego la corriente gaseosa es dividida en dos corrientes mediante un mixer (TEE-100); una

que va a alimentar a los motores Cummins y otra que va a los motores Caterpillar. A la corriente de gas de alimentación de los motores Caterpillar se le regula la presión a 100 psi para entrar a otro depurador (V-101), del cual sale a una temperatura de 32,869°F y a una presión de 100 psi.

A la corriente de gas que va a alimentar a los motores Cummins se le regula la presión a 180 psi para entrar a otro depurador (V-102), después que sale de ahí, se le regula de nuevo la presión, ahora a 100 psi. Luego, se hace pasar por un tercer y último depurador (V-103) para luego alimentar a los motores.

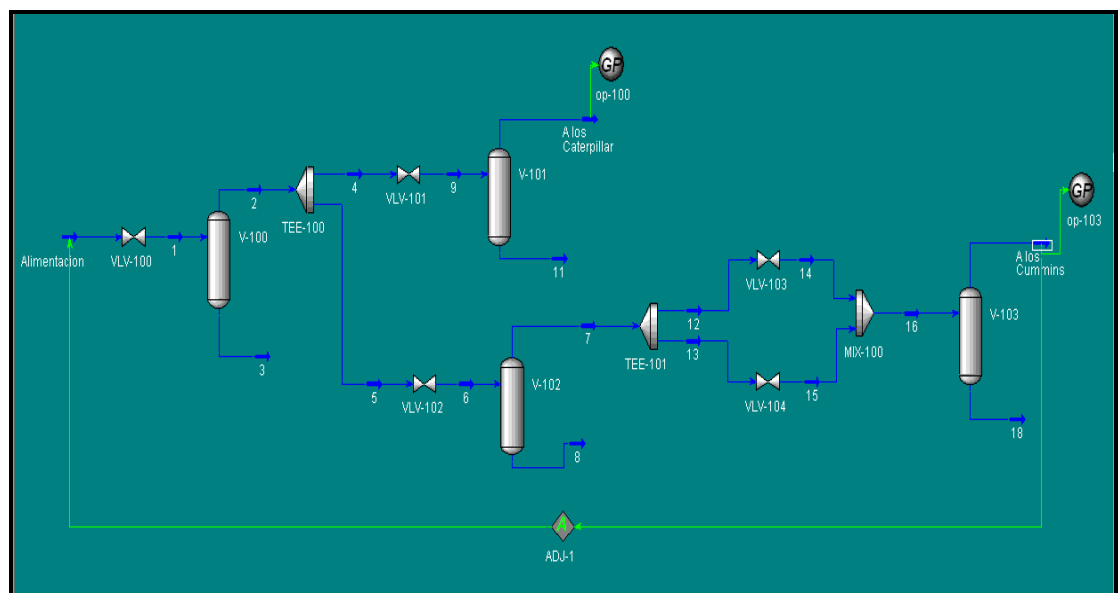


Figura 3.3 Esquema actual de la planta simulado con HYSYS

3.4.4 Simulación del escenario futuro de la planta

En esta simulación básicamente lo que se hace es lo siguiente: se introduce la alimentación a la planta a 435 psi y a 60°F, luego es precalentada debido a que la temperatura requerida para la deshidratación con tamices es de 80-100°F. Se

precalentó hasta 100 °F y luego es introducida en la torre con tamices moleculares, los cuales le disminuyen casi todo el contenido de agua al gas, debido a que lo reducen hasta aproximadamente 0,1 ppm.

Seguidamente el gas deshidratado es calentado de 77,199 °F hasta 119,40°F a través de un calentador indirecto, tipo baño de maría. Luego a esta corriente caliente se le tumba la presión a 250 psi para entrar a un depurador (V-104), y de allí la corriente se divide en dos, una q va a alimentar a los equipos nuevos de la planta y otra que va a alimentar a los dos motores Cummins ya existentes. A esta última corriente se le regula de nuevo la presión hasta 100 psi, debido a que a esa presión es que debe llegar el gas a los motores.

La corriente que va a alimentar a los equipos nuevos de la planta (turbinas y motores) pasa a través de una válvula para regularle la presión de 250 psi hasta 200 psi, porque a la presión que la corriente de gas sale del depurador no está en el rango permitido de presión de operación de las turbinas. De esta manera, el gas llega a las turbinas a una temperatura 50°F por encima de su punto de rocío y a 200 psi, para finalmente regularle de nuevo la presión hasta 100 psi, para alimentar a la otra serie de motores.

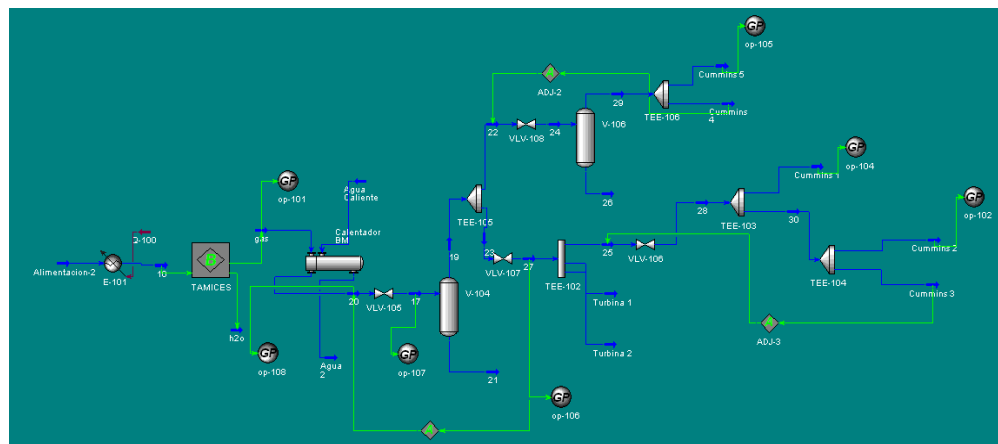


Figura 3.4 Escenario futuro de la planta simulado en HYSYS

3.4.5 Diseño del sistema de deshidratación con desecantes secos (sólidos)

Al reestructurar el esquema de operación de la planta, se emplearon otros procesos para el acondicionamiento de la corriente de gas, por lo que fue necesario realizar el diseño de un sistema de deshidratación con desecantes sólidos, en este caso con tamices moleculares y, el diseño de un intercambiador indirecto tipo baño de maría para llevar al gas a la temperatura de especificación requerida por los equipos.

Este diseño fue realizado en base a las condiciones óptimas de operación a la cual debe trabajar el sistema de gas combustible de la planta, obtenidas de la simulación anteriormente realizada.

El diseño básico de un sistema de deshidratación con desecantes secos involucra los siguientes cálculos:

- Cantidad requerida de desecante.
- Determinación del diámetro y longitud del lecho.
- 3. Cálculo del sistema de regeneración y suministro de calor.
- 4. Tamaño de los intercambiadores de calor.
- 5. Determinación de la secuencia apropiada en el diseño.

La actividad previa a estos cálculos es determinar los parámetros fundamentales asociados a la instalación y a los contratos de venta, entre ellos:

- Descenso requerido del punto de rocío.
- Servicios disponibles (agua, electricidad, etc.)
- Problemas de operación.
- Tipo del desecante (el cual es una función de las otras variables y del costo).

Tipo de desecante y cantidad requerida

La escogencia del desecante es una función del descenso del punto de rocío requerido en el gas que se deshidrata, vida útil y costo, entre otros; también pesa algo, la preferencia individual del diseñador. Algunas variables son:

Tabla 3.2 Diferentes tipos de desecante sólidos

Tipo	Nombre comercial
Bauxita	Florite, Dri-o-cel, Porocel, etc.
Bauxita purificada	Alúmina activada
Sílica-gel, Alúmina	Sílica gel, molibilbeads, solbeads, H-151
Silicato aluminio-álcali	“Molécula sieves” o tamiz molecular

Tabla 3.3 Características de desecantes comerciales

Desecante	Forma	Densidad (lb/ft ³)	Tamaño (mesh)	Contenido de agua (ppm)
Alúmina Gel	Esférica	52	¼”	5 – 10
Alúmina activada	Granular	52	¼” - 8	0,1
		47 - 48		
Sílica Gel	Esférica	50	4 – 8	5 – 10
	Granular	45	3 – 8	
Tamiz molecular	Esférica	42 – 45	8 – 12	0,1
	Cilíndrico	40 - 42	1/8”	

Volumen de desecante en una camada

El volumen de material deshidratante que requiere una camada, se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$V_d = \frac{m_d}{\rho_d} = \frac{m_d}{C_d * \rho_d} = \frac{Q_g * (PR_1 - PR_2)}{C_d * \rho_d} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Donde:

V_d = Volumen del desecante (ft³).

m_d = Masa requerida de desecante (lb de desecante).

ρ_d = Densidad del desecante (lb/ft³, dato del fabricante).

C_d = Capacidad del desecante (lb H₂O/lb de desecante, dato del fabricante).

Q_g = Flujo de gas a deshidratar (MMPCND).

PR_1 = Cantidad de agua en el gas antes de la deshidratación (lb H₂O/MMPCND).

PR_2 = Cantidad de agua en el gas después de la deshidratación (lb H₂O/MMPCND).

El contenido de agua del gas en la entrada a la planta es de 193,13 lb H₂O/MMPCN y en la salida: 0,0475 lb H₂O/MMPCN, lo cual totaliza:

$$W_w = 92,24 \text{ MMPCND} * (193,13 - 0,0475) \frac{\text{lbH}_2\text{O}}{\text{MMPCN}} = 17.809,93 \text{ lbH}_2\text{O} / \text{día}$$

En un ciclo de 8 horas, el deshidratante debe retener:

$$W_{WE} = \frac{17.809,93 \frac{lbH_2O}{día}}{3} = 5.936,643 lbH_2O$$

Si la capacidad de adsorción de las mallas o tamices moleculares es de 22lb H₂O/100 lb del desecante, cada torre debe tener:

$$W_{WE} = \frac{5.936,643 lbH_2O}{0,22 lbH_2O / lbde sec ante} = 26.984,742 lbde sec ante$$

Si las mallas o tamices moleculares tienen una densidad bruta de 45 lb/ft³, el volumen requerido (V_s) sería:

$$V_s = \frac{26.984,742 lb}{45 lb / ft^3} = 599,661 ft^3$$

Diámetro y longitud del adsorbedor

Algunos operadores limitan la velocidad del gas dentro de la torre a 30-45 ft/min., con el fin de disminuir las pérdidas de presión en la torre y la rotura del sólido. Este procedimiento se apoya en la experiencia y normalmente se calcula para el área transversal de la torre vacía, utilizando las leyes de los gases y la velocidad real. El resultado es una cifra de cuasi velocidad.

Tasa de flujo de gas

$$Q_g = \frac{\left(92,24 \times 10^6 \frac{ft^3}{día}\right) (14,7 psi) (560R) (0,81)}{(24)(430 psi)(520R)(60)} = 1.910,185 ft^3 / min$$

Área de la sección

$$V_g = \frac{Q_g}{A} * F \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Donde:

V_g = Velocidad del gas (ft/min.).

Q_g = Flujo de gas a deshidratar (MMPCND).

A = Área transversal (ft²).

F = Factor de conversión de días a minutos).

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = 0,785 * D^2 \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Despejando el área de la (Ec. 3.4) e igualando la expresión para calcular el área de la sección transversal del absorbedor (Ec. 3.5), nos queda:

$$0,785 * D^2 = \frac{1.910,185 \text{ ft}^3 / \text{min}}{45 \text{ ft} / \text{min}} = 42,449 \text{ ft}^2$$

De donde, $D = 7,354 \text{ ft} = 88,243''$ (sin incluir el espesor permisible).

Debido a que, normalmente los cabezales sólo se consiguen sólo en incrementos de 6'', se puede escoger un recipiente de 90'' (7,5ft) de diámetro interno. De acuerdo a esto, la nueva área transversal sería de:

$$A = (0,785)(7,5\text{ ft})^2 = 44,156\text{ ft}^2$$

Longitud de la camada

$$L = \frac{V_s}{A} \quad (\text{Ec 3.6})$$

Donde:

L = Longitud de la camada (ft).

V_s = Volumen de desecante (ft^3).

A = Área comercial de la sección transversal (ft^2).

La longitud de la camada sería:

$$L = \frac{599,661\text{ ft}^3}{44,156\text{ ft}^2} = 13,58\text{ ft}$$

La escogencia de la altura, a su vez, permite estimar un determinado pseudo tiempo de contacto del gas con el deshidratante. El pseudo-tiempo de contacto (Stc) puede calcularse a través de la siguiente ecuación:

$$Stc = \frac{L}{V_g} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Donde:

Stc = Pseudo tiempo de contacto (min.).

L = Longitud del absorbedor (ft).

V_g = Velocidad del gas (ft/min.).

Se requieren algunos segundos como mínimo para permitir la adsorción del agua en el desecante.

$$Stc = \frac{13,58 \text{ ft}}{45 \text{ ft / min}} = 0,302 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{\text{min}} = 18,107 \text{ s}$$

En cualquier caso se recomienda que la camada tenga por lo menos de 2 a 3 ft de espesor, para evitar la canalización. Pocas veces estos requerimientos pueden causar el uso de una cantidad mayor del desecante que el que se obtuvo mediante los cálculos realizados a partir del contenido de agua del gas.

3.4.6 Diseño del calentador indirecto

Calor requerido

$$Q = m * C_p * (T_2 - T_1) \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Donde:

Q= Calor requerido (Btu/h)

m= Flujo molar (lbmol/h)

C_p = Capacidad calorífica del gas (Btu/lbmol.°F)

T₂= Temperatura de salida (°F)

T₁= Temperatura de entrada (°F)

$$Q = 416,40 \frac{\text{lbmol}}{\text{h}} * 10,580 \frac{\text{Btu}}{\text{lbmol.}^\circ\text{F}} * (77,20 - 119,40)^\circ\text{F} = -185.912,606 \text{ Btu} / \text{h}$$

Usando tabla A.1 (ver anexos) extraída del manual de diseño de calentadores indirectos de Sivalls, se determinan los siguientes parámetros, de acuerdo al calor calculado:

Tamaño del equipo = 30" x 6'

Calor de la caja de fuego = 250.000 Btu/h

Nº de tubos = 14

Tamaño de los tubos = 1" X

Área del serpentín = 26,2 ft²

Longitud equivalente = 96,4 ft

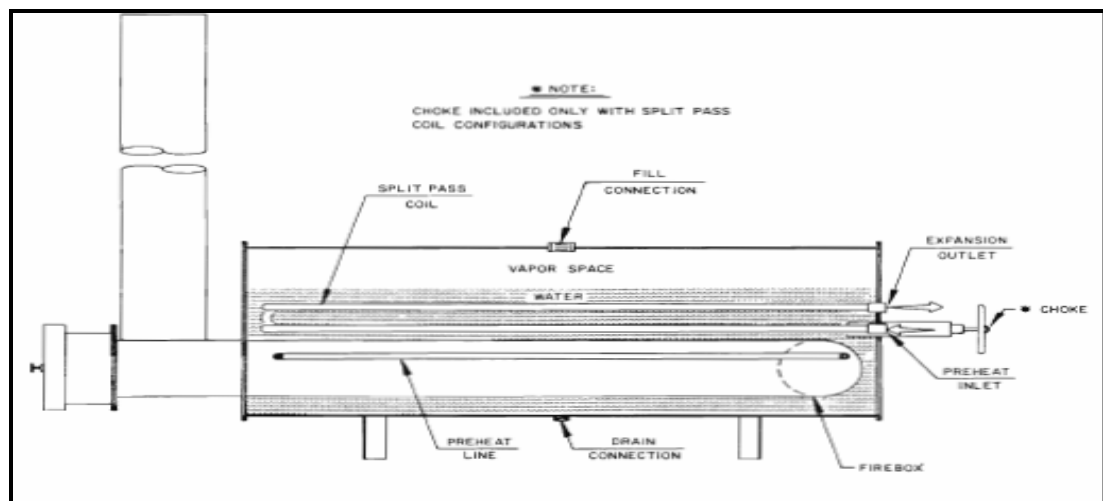


Figura 3.5 Calentador Indirecto

Caída de presión en el serpentín

La caída de presión en el calentador se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (\text{Ec. 3.9})$$

La presión de salida del calentador puede determinarse por medio de la siguiente expresión:

$$P_2 = \left[P_1^2 - (P_1^2 - P_2^2) * \frac{Le}{100} \right]^{1/2} \quad (\text{Ec. 3.10})$$

Donde:

Δp = Caída de presión (psi)

P_1 = Presión de entrada (psi)

P_2 = Presión de salida (psi)

L_e = Longitud equivalente (ft)

$(P_1^2 - P_2^2)$ = Factor de caída de presión ($\text{psia}^2/100\text{ft}$)

El factor de caída de presión ($P_1^2 - P_2^2$) se obtiene mediante la figura B.2 (ver anexos), extraída del manual de diseño de calentadores indirectos Sivalls. Obteniéndose un valor aproximado de $5100 \text{ psi}^2/100\text{ft}$.

$$P_2 = \left[(342)^2 - (5100) * \frac{96,4}{100} \right]^{1/2} = 334,74 \text{ psi}$$

Luego se calcula la caída de presión en el serpentín a través de la (Ec. 3.9):

$$\Delta p = (342 - 334,74) \text{ psi} = 7,26 \text{ psi}$$

Coefficiente global de película

$$U = \frac{Q}{A * TM} \quad (\text{Ec. 3.11})$$

Donde:

Q = Calor requerido (Btu/h)

U = coeficiente global de película (Btu/h.ft².°F)

A = Área (ft²)

TM = Diferencia media logarítmica de la temperatura

Este coeficiente también puede ser determinado gráficamente mediante el uso de la figura B.3 (ver anexos) extraída del manual de diseño de calentadores indirectos Sivalls. El valor obtenido fue 148 Btu/h.ft².°F

Cálculo de la diferencia media logarítmica

Esta diferencia de temperatura se pudo determinar gráficamente mediante el uso de la figura B.4 (ver anexos), extraída del manual de diseño de calentadores indirectos Sivalls. Para utilizar la figura B.3 es necesario determinar dos parámetros, GTD y LTD.

GTD = Diferencia mayor de temperatura (180 – Tentrada del intercambiador) °F

LTD = Diferencia menor de temperatura (180 - Tsalida del intercambiador) °F

$$GTD = (180 - 77,20)^\circ F = 102,8^\circ F$$

$$LTD = (180 - 119,40)^\circ F = 60,6^\circ F$$

Con estos valores, se obtuvo un valor de la media logarítmica aproximado de 80°F.

Volumen de agua requerida en el calentador

Se determina mediante el uso de la tabla A.2 (ver anexos), extraída del manual de diseño de calentadores indirectos de Sivalls. De acuerdo al tamaño del equipo obtenido (30" x 6') se tiene un volumen de agua de 4,2 bbl.

3.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En esta etapa se llevó a cabo el estudio de la información recopilada y se efectuó el análisis de los resultados obtenidos a partir de las simulaciones y de los diseños realizados. Todo esto permitió comprender y verificar el funcionamiento del sistema de gas combustible que alimenta a la Central Eléctrica CE-01, así como también la formulación de conclusiones y recomendaciones.

3.6 REDACCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

Esta etapa comprendió el ordenamiento y transcripción de toda la información recopilada y obtenida, resultados, análisis, conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez evaluado las condiciones óptimas de operación de la alimentación del gas combustible a la Central Eléctrica CE-01, se realizó el siguiente análisis de los resultados obtenidos:

A través de la determinación de los flujos de gas combustible requeridos por los motores (Cummins y Caterpillar), 239.877,36 ft³/día y 272.020,00 ft³/día, por cada motor respectivamente, se pudo estimar el flujo total de gas requerido por la planta y, se pudo conocer la temperatura mínima del gas de entrada requerida para cada motor (ver tabla 4.1) a través de las especificaciones de cada equipo.

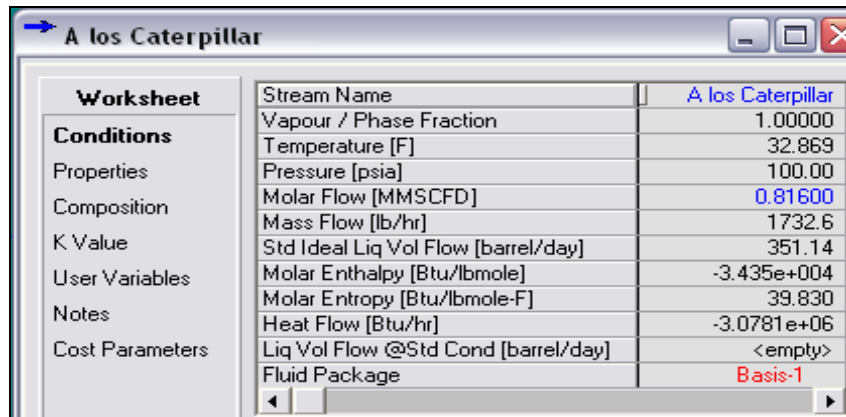
Tabla 4.1 Flujo, temperatura y presión del gas a la entrada de los equipos.

Motor	Flujo de gas (ft ³ /día)	Presión (psi)	Temperatura (°F)
Caterpillar	272.016,00	100	20° > T _{ROCÍO}
Cummins	239.877,36		

Una vez conocida las condiciones requeridas de operación de cada equipo se procedió a realizar la simulación del sistema actual del gas combustible que alimenta a la planta con el simulador de procesos HYSYS versión 3.1, con el cual se realizó un análisis de sensibilidad paramétrica para identificar las variables sensibles de operación. Básicamente se simuló para conocer a las condiciones que estaba entrando la corriente de gas a los equipos, para ver si cumplía con las especificaciones requeridas. Se simuló lo siguiente:

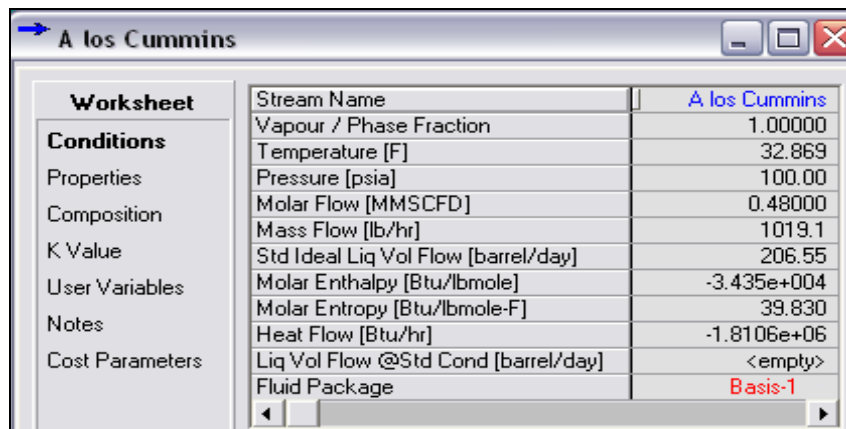
Actualmente la planta recibe gas a 60°F y a 435 psi, luego pasa por un proceso de separación a través de una serie de depuradores para disminuirle el

contenido de agua. Se le regula la presión a 250 psi para entrar a una serie de depuradores, luego se vuelve a regular la presión a 100 psi antes de alimentar a cada grupo de motores.



Worksheet		Stream Name	A los Caterpillar
Conditions		Vapour / Phase Fraction	1.00000
Properties		Temperature [F]	32.869
Composition		Pressure [psia]	100.00
K Value		Molar Flow [MMSCFD]	0.81600
User Variables		Mass Flow [lb/hr]	1732.6
Notes		Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	351.14
Cost Parameters		Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-3.435e+004
		Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	39.830
		Heat Flow [Btu/hr]	-3.0781e+06
		Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	<empty>
		Fluid Package	Basis-1

Figura 4.2 Condiciones actuales de la corriente de alimentación a los motores Caterpillar



Worksheet		Stream Name	A los Cummins
Conditions		Vapour / Phase Fraction	1.00000
Properties		Temperature [F]	32.869
Composition		Pressure [psia]	100.00
K Value		Molar Flow [MMSCFD]	0.48000
User Variables		Mass Flow [lb/hr]	1019.1
Notes		Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	206.55
Cost Parameters		Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-3.435e+004
		Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	39.830
		Heat Flow [Btu/hr]	-1.8106e+06
		Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	<empty>
		Fluid Package	Basis-1

Figura 4.3 Condiciones actuales de la corriente que alimenta a los motores Cummins

Una vez corrida la simulación, se determinó que el gas que alimenta a los motores sale con una temperatura de 32, 87°F y que el punto de rocío de este gas es de 18,25°F.

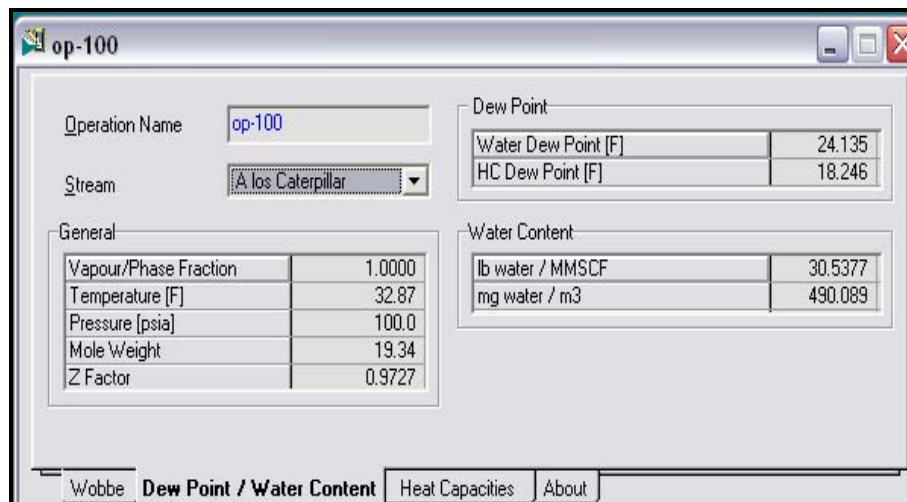


Figura 4.4 Condiciones actuales del gas de entrada a lo motores Caterpillar

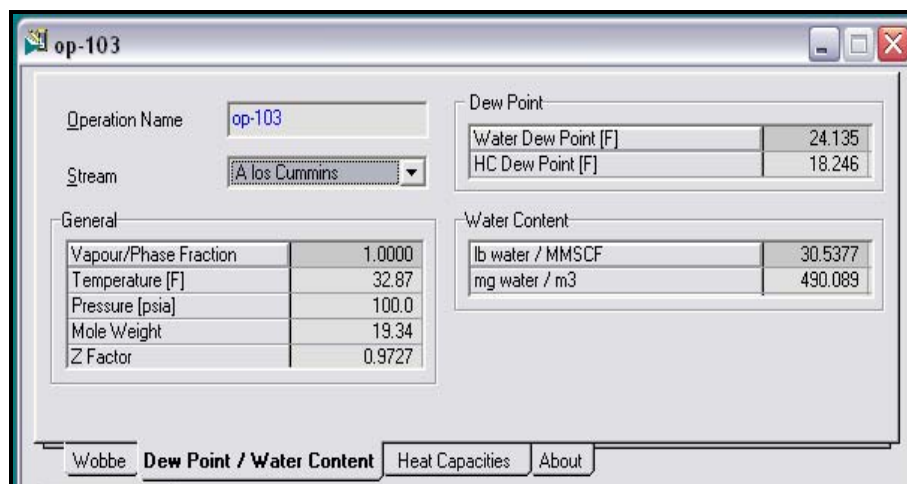


Figura 4.5 Condiciones actuales del gas de entrada a lo motores Cummins

Las especificaciones de dichos motores establecen que la temperatura del gas que alimenta a estos equipos debe ser de mínimo 20° por encima de su punto de rocío y, de acuerdo a las condiciones simuladas, realmente está entrando a tan solo 14,62°F por encima de la temperatura de rocío. Por lo tanto, se puede decir que la corriente de gas combustible está entrando a los equipos fuera de especificación, estas condiciones pueden ocasionar fallas al momento del funcionamiento de los equipos.

Al conocer las condiciones actuales de operación se procedió a realizar una reestructuración del esquema de operación de la planta (ver figura 3.2) para realizar el proceso de acondicionamiento del gas combustible de alimentación de una manera más eficiente. De igual manera se realizó la revisión bibliográfica necesaria para determinar los requerimientos de gas combustible de cada uno de los equipos presentes.

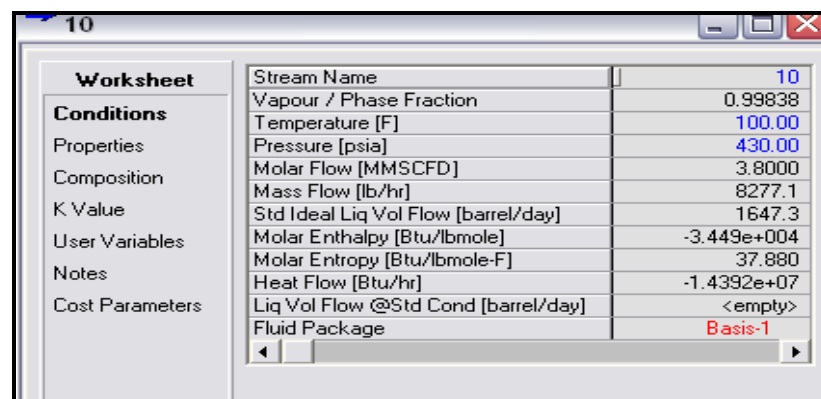
Tabla 4.2 Requerimientos de gas combustible tanto para el sistema actual como para el sistema futuro de la Central Eléctrica CE-01

Sistema	Equipos	Cantidad	Flujo de gas (ft ³ /día)
Actual	Cummins 1250 kW	2	479.754,72
	Caterpillar 1250 kW	3	816.060,00
Futuro	Cummins 1250 kW	4	959.509,44
	Cummins 2000 kW	1	455.559,20
	Turbinas 5000 kW	2	2.372.188,14

Después de determinar los requerimientos de gas combustible que necesitan cada uno de los equipos y de revisar en los manuales de especificación, las condiciones de temperatura y presión a las que debían trabajar los mismos se procedió a realizar una segunda simulación, ahora para determinar las condiciones óptimas a las cuales deben ser alimentados con gas combustible las turbinas y motores presentes en la planta.

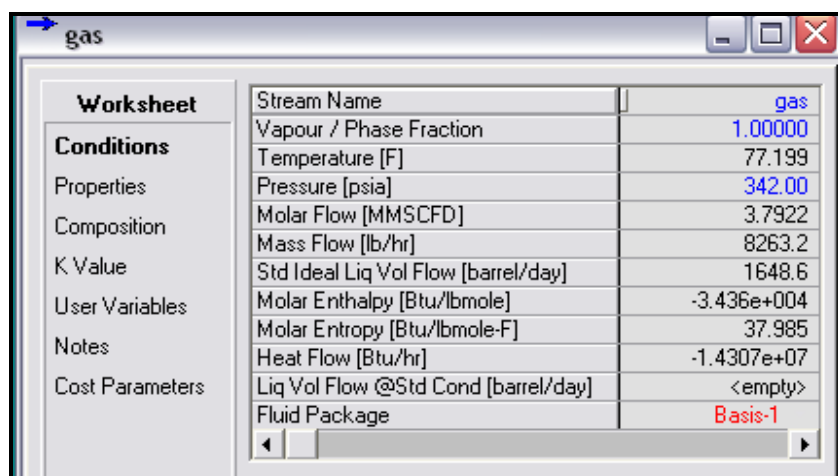
Tabla 4.3 Condiciones de operación de los equipos en la situación futura de la planta

Equipo	Flujo de gas (ft ³ /día)	Presión (psi)	Temperatura (°F)
Cummins 1250 kW	239.877,36	100	20° > T _{ROCIO}
Cummins 2000 kW	455.559,20		
Turbinas 5000 kW	1.186.094,07	170 - 220	50° > T _{ROCIO}



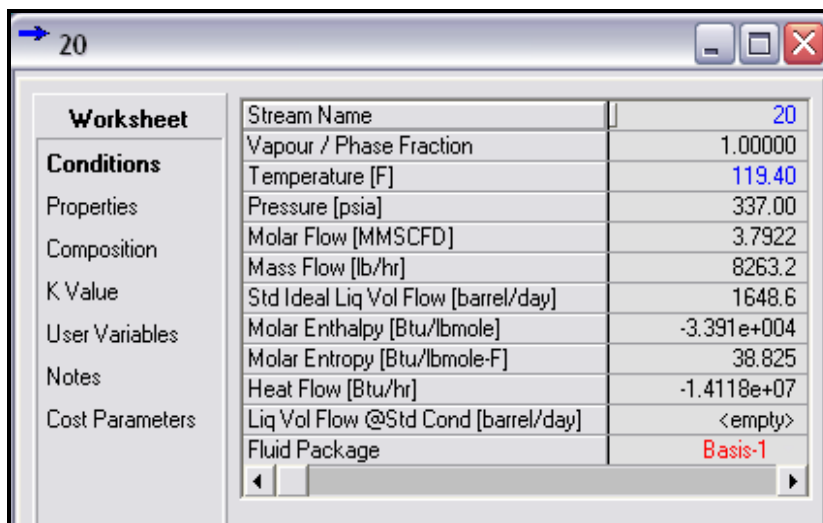
Worksheet	
Stream Name	10
Vapour / Phase Fraction	0.99838
Temperature [F]	100.00
Pressure [psia]	430.00
Molar Flow [MMSCFD]	3.8000
Mass Flow [lb/hr]	8277.1
Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	1647.3
Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-3.449e+004
Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	37.880
Heat Flow [Btu/hr]	-1.4392e+07
Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	<empty>
Fluid Package	Basis-1

Figura 4.6 Condiciones del gas a la entrada de los tamices



Worksheet	
Stream Name	gas
Vapour / Phase Fraction	1.00000
Temperature [F]	77.199
Pressure [psia]	342.00
Molar Flow [MMSCFD]	3.7922
Mass Flow [lb/hr]	8263.2
Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	1648.6
Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-3.436e+004
Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	37.985
Heat Flow [Btu/hr]	-1.4307e+07
Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	<empty>
Fluid Package	Basis-1

Figura 4.7 Condiciones del gas a la salida de los tamices



Worksheet	
Stream Name	20
Vapour / Phase Fraction	1.00000
Temperature [F]	119.40
Pressure [psia]	337.00
Molar Flow [MMSCFD]	3.7922
Mass Flow [lb/hr]	8263.2
Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	1648.6
Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-3.391e+004
Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	38.825
Heat Flow [Btu/hr]	-1.4118e+07
Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	<empty>
Fluid Package	Basis-1

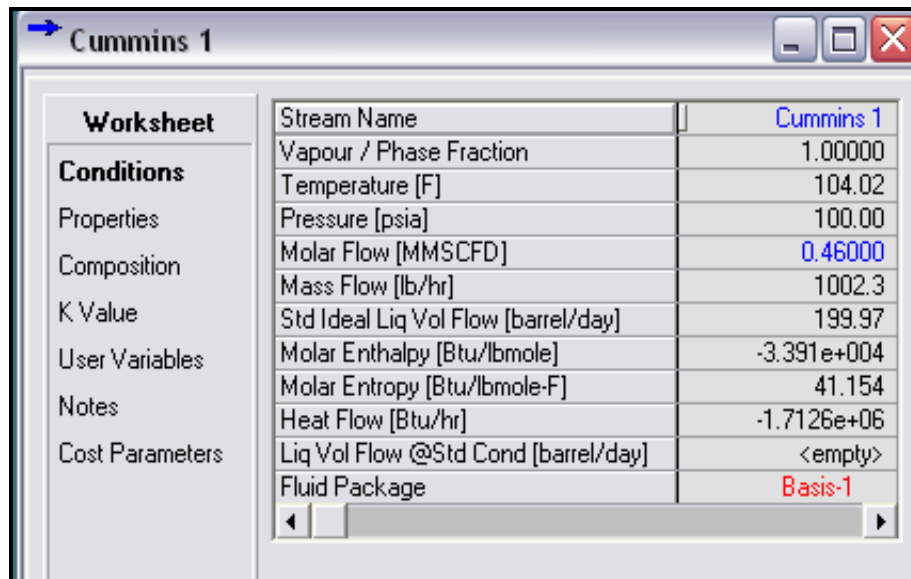
Figura 4.8 Condiciones del gas a la salida del calentador

Worksheet	Stream Name	Turbina 1
Conditions	Vapour / Phase Fraction	1.00000
Properties	Temperature [F]	110.68
Composition	Pressure [psia]	200.00
K Value	Molar Flow [MMSCFD]	1.1861
User Variables	Mass Flow [lb/hr]	2584.5
Notes	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	515.63
Cost Parameters	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-3.391e+004
	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	39.814
	Heat Flow [Btu/hr]	-4.4158e+06
	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	<empty>
	Fluid Package	Basis-1

Figura 4.9 Condiciones del gas a la entrada de las turbinas

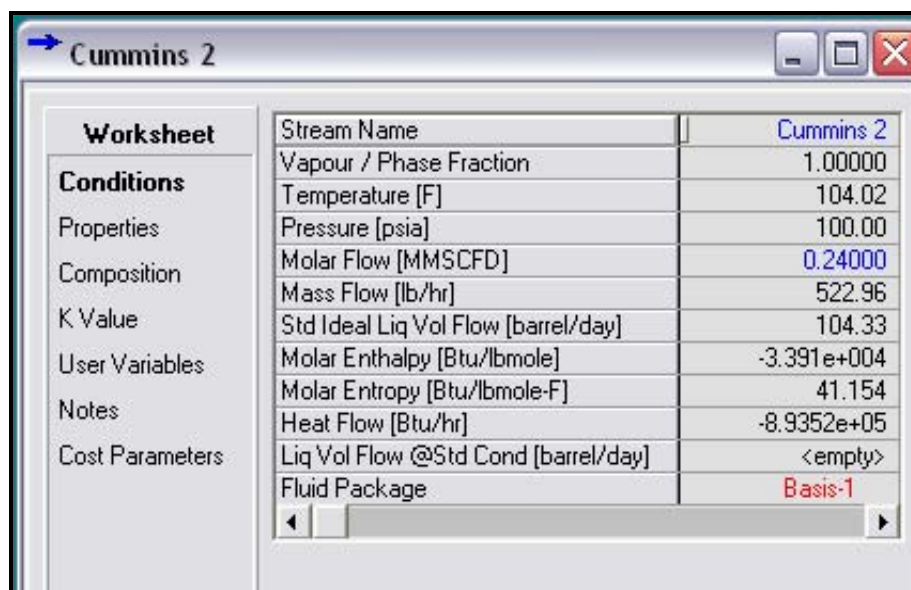
op-106	
Operation Name	op-106
Stream	27
Dew Point	
Water Dew Point [F]	<empty>
HC Dew Point [F]	60.669
General	
Vapour/Phase Fraction	1.0000
Temperature [F]	110.7
Pressure [psia]	200.0
Mole Weight	19.84
Z Factor	0.9644
Water Content	
lb water / MMSCF	4.74759e-01
mg water / m3	7.61925e-01

Figura 4.10 Condiciones del gas de alimentación a las turbinas



Worksheet		Stream Name	Cummins 1
Conditions		Vapour / Phase Fraction	1.00000
Properties		Temperature [F]	104.02
Composition		Pressure [psia]	100.00
K Value		Molar Flow [MMSCFD]	0.46000
User Variables		Mass Flow [lb/hr]	1002.3
Notes		Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	199.97
Cost Parameters		Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-3.391e+004
		Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	41.154
		Heat Flow [Btu/hr]	-1.7126e+06
		Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	<empty>
		Fluid Package	Basis-1

Figura 4.11 Condiciones del gas a la entrada del motor Cummins que genera 2000 kW



Worksheet		Stream Name	Cummins 2
Conditions		Vapour / Phase Fraction	1.00000
Properties		Temperature [F]	104.02
Composition		Pressure [psia]	100.00
K Value		Molar Flow [MMSCFD]	0.24000
User Variables		Mass Flow [lb/hr]	522.96
Notes		Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	104.33
Cost Parameters		Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-3.391e+004
		Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	41.154
		Heat Flow [Btu/hr]	-8.9352e+05
		Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	<empty>
		Fluid Package	Basis-1

Figura 4.12 Condiciones del gas a la entrada de los motores Cummins de 1250 kW nuevos

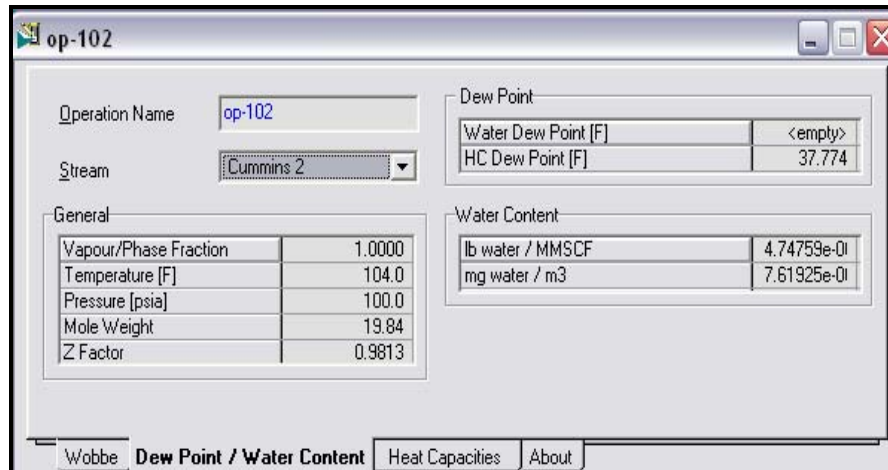


Figura 4.13 Condiciones del gas de alimentación a los motores

De acuerdo a los datos obtenidos en la simulación se realizó el diseño del sistema de deshidratación con tamices moleculares y de un calentador indirecto tipo baño de maría, con los cuales el sistema de gas combustible trabajará a sus condiciones óptimas de operación ya que cumple con las especificaciones requeridas por los equipos.

De acuerdo a los diseños realizados se obtuvieron unos equipos con las siguientes especificaciones:

Torre de deshidratación con tamices moleculares

Flujo de gas a deshidratar = 3.800.000 ft³/día.

Cantidad de agua adsorbida = 17.809,93 lb H₂O/día.

Volumen de desecante = 599,661 ft³.

Diámetro del equipo = 90”

Longitud del lecho = 13,58 ft.

Calentador indirecto

Tasa de calor de la caja de fuego = 250.000 Btu/h.

Diámetro = 30".

Longitud = 10'

Material de los tubos = acero.

Número de tubos = 14

Tamaño de la tubería = 1" X

Área del serpentín = 26,2 ft²

Caída de presión = 7,26 psi

Coefficiente global de película = 148 Btu/h.ft².°F

Media logarítmica de temperatura = 80°F

Volumen de agua requerido en el calentador = 4,2 bbl.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. La tasa de alimentación de gas combustible para las condiciones actuales fue 1,314 MMPCND.

2. La temperatura del gas de entrada a los motores en el sistema actual es de 32,85 °F, la cual se encuentra fuera de las especificaciones requeridas por estos equipos, debido a que la mínima requerida es de 38,25°F.

3. El gas combustible utilizado actualmente para alimentar a los equipos de la Central Eléctrica CE – 01, no cumple con las especificaciones requeridas.

4. El proceso de acondicionamiento actual no resulta eficiente para la corriente de gas de alimentación.

5. La tasa de alimentación de gas combustible para el esquema futuro fue de 3,8 MMPCD.

6. La temperatura del gas de entrada a las turbinas para el esquema futuro es de 110,7°F, teniendo una temperatura de rocío de 60,69°F.

7. La temperatura del gas de entrada a los motores para el esquema futuro es de 104,0°F, teniendo una temperatura de rocío de 37,77°F.

8. Los cambios realizados al sistema actual de alimentación del gas combustible generan un proceso más eficiente, debido a que con esos cambios el gas entra con la especificación requerida a los equipos.

5.2 RECOMENDACIONES

Evaluar el sistema de alimentación de gas combustible estudiado empleando un sistema de deshidratación con glicol, o con otro desecante sólido (sílice o bauxita).

Realizar otras corridas con otro simulador de proceso (como por ejemplo, proII) para estudiar otro análisis de las variables del proceso.

Calcular el número de metanos de la corriente de gas natural estudiada.

BIBLIOGRAFÍA

1. HERREDA, Oliver. “Dimensionamiento de los equipos requeridos para el tratamiento de una corriente de gas natural”. Tesis de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui (2004)

2. HERNÁNDEZ, Maryoly. “**Determinación del consumo específico de gas natural en la planta de Alúmina de CVG Bauxilun**”. Tesis de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui (1998).

3. MARTÍNEZ, M. “**Deshidratación del Gas Natural**”. Editorial EDILUZ. Venezuela.

4. “Manual de diseño de calentadores indirectos”. SIVALLS

5. RODRÍGUEZ M., David. “Diseño de una planta de acondicionamiento de gas combustible para una planta compresora de gas natural utilizando modelos de simulación en estado estacionario”. Tesis de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui (2005).

6. Ruiz, Ramón. “**Estudio del sistema de gas combustible de plantas compresoras de Jusepín**”. Tesis de Grado, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui Puerto la cruz, Junio (1990).

7. <http://www.china5e.com/solar/es9-98.pdf>

ANEXOS

ANEXO A

Tabla A.1 Standares de calentadores indirectos con serpetin de tuberia de acero.

Size Dia x Len.	Firebox Rating BTU/hr	No. of Tubes	Tube Size	Coil Area sq ft	Split Pass		Equivalent Len. of Pipe for Press. Drop. ft
					Tubes Split	Split Areas	
24" x 3'	100,000	Spiral	1" X	21.5	-	-	93.2
30" x 6'	250,000	14	1" X	26.2	8/6	15.0/11.2	96.4
			2" X or XX	28.9	4/4	14.5/14.4	68.3
30" x 10'	500,000	8	2" X or XX	48.8	4/4	24.4/24.4	100.3
36" x 10'	750,000	14	2" X or XX	85.3	8/6	48.7/36.6	177.7
			3" X or XX	72.3	10/4	60.9/24.4	112.7
48" x 10'	1,000,000	18	2" X or XX	109.7	8/6	73.1/36.6	229.3
			3" X or XX	126.4	10/4	72.2/54.2	200.7
60" x 12'	1,500,000	24	2" X or XX	176.1	12/2	90.3/36.1	243.8
			3" X or XX	217.1	12/2	108.3/18.1	328.7
60" x 20'	2,500,000	20	2" X or XX	295.5	16/8	117.4/58.7	546.7
			3" X or XX	363.7	12/8	130.3/86.8	488.7
60" x 24'	3,000,000	14	2" X or XX	355.2	14/6	152.0/65.1	642.7
			3" X or XX	437.0	8/6	112.2/84.2	568.7
72" x 24'	4,000,000	30	2" X or XX	655.4	10/4	140.3/56.1	855.4
			3" X or XX	507.0	12/2	168.3/28.1	531.1

Tabla A.2 Calentadores indirectos – volúmenes del baño de agua.

Heater Size Dia x Len.	Water Volume Required, bbl
24" x 3'	1.4
30" x 6'	4.2
30" x 10'	6.9
36" x 10'	8.7
48" x 10'	16.4
60" x 12'	31.0
72" x 12'	42.2
60" x 20'	48.6
60" x 24'	62.3
72" x 24'	82.5

ANEXO B

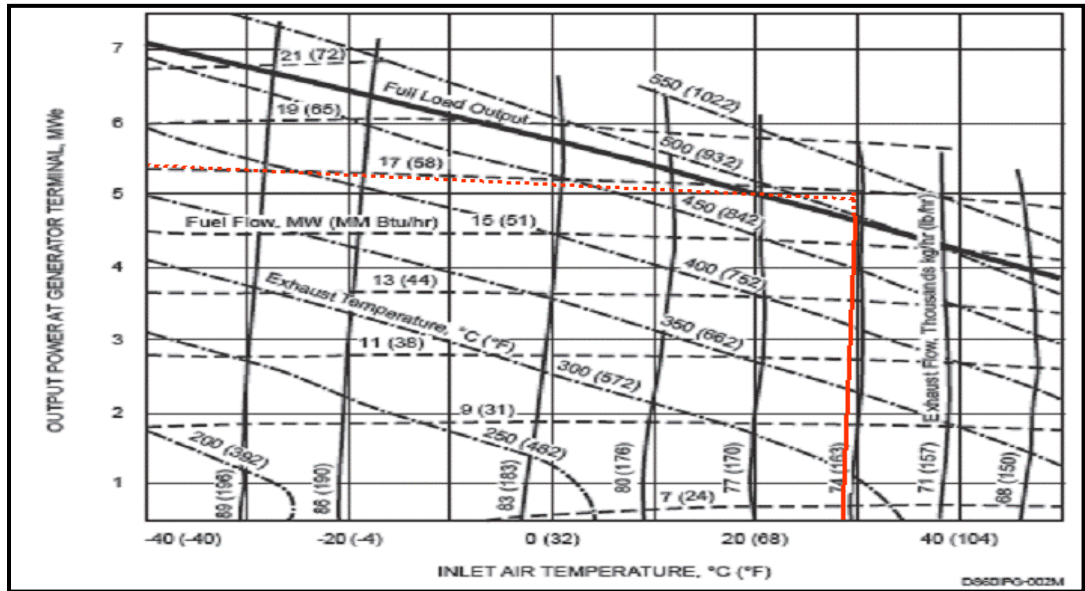


Figura B.1 Gráfica para determinar el consumo de gas combustible de las turbinas

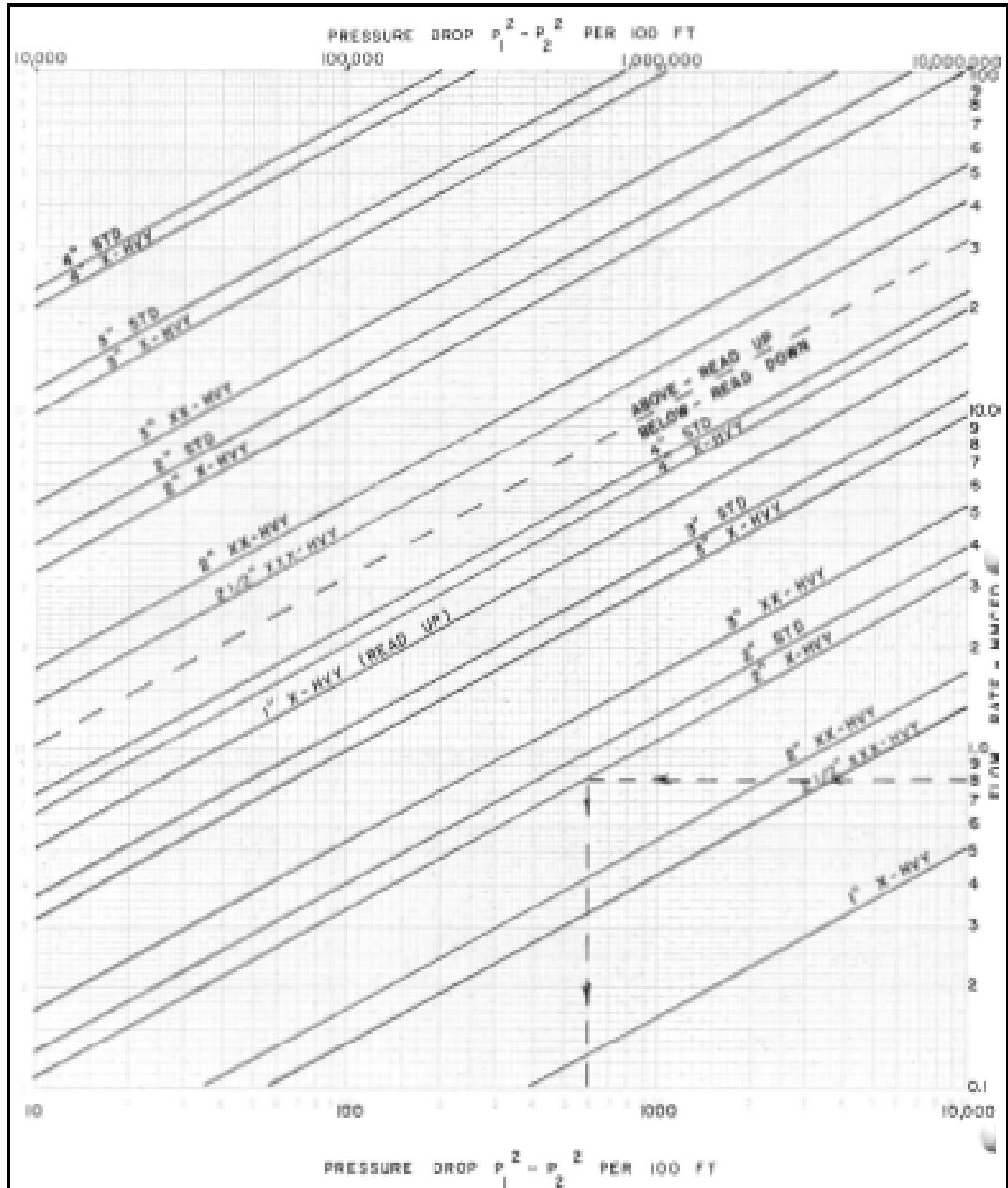


Figura B.2 Caída de presión para gas natural a través del serpentín en calentadores indirectos.

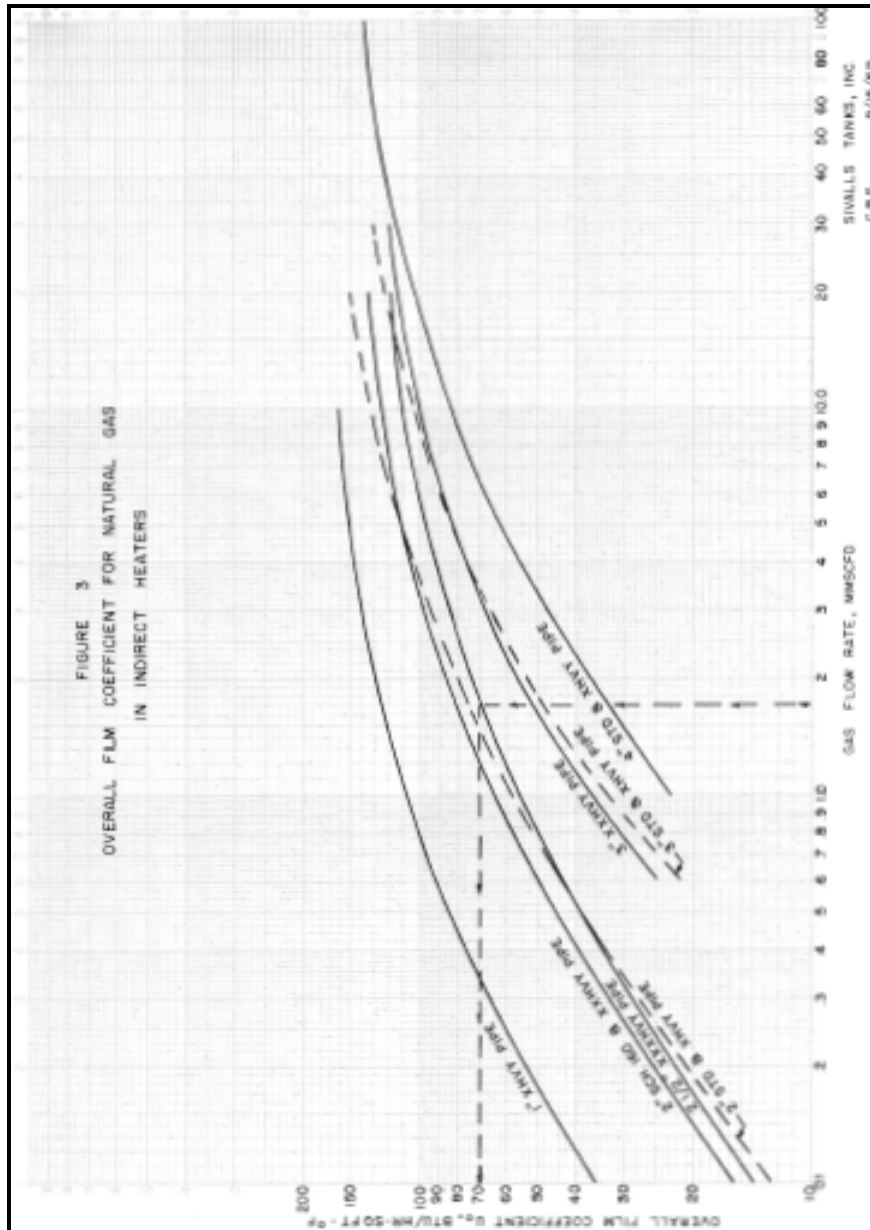


Figura B.3 Coeficiente global de película para gas natural en calentadores indirectos

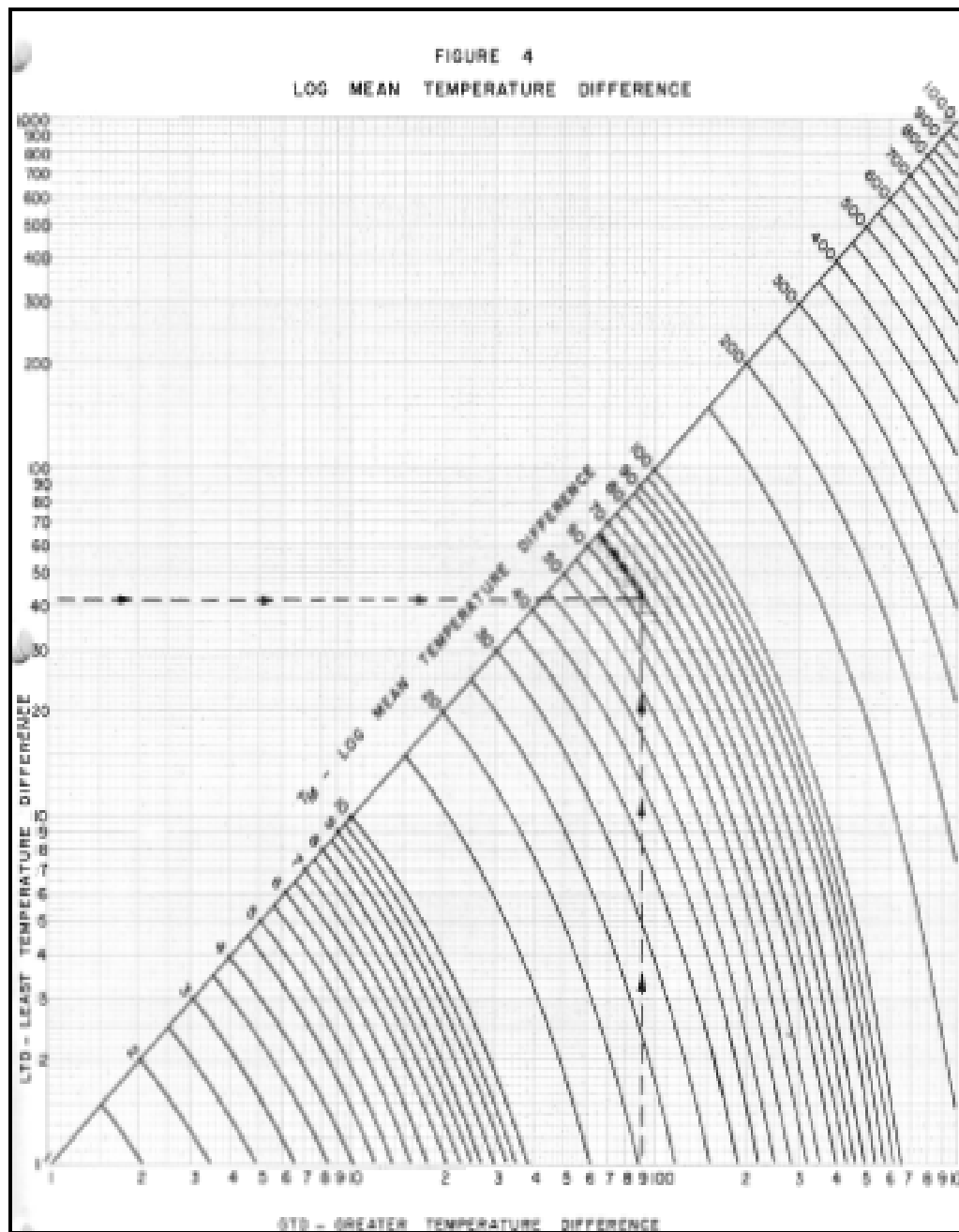


Figura B.4 Diferencia de media logarítmica de temperatura

Hoja de Metadatos Para Tesis Y Trabajos de Ascenso

Título	EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE ALIMENTACIÓN DEL GAS COMBUSTIBLE A LA CENTRAL ELÉCTRICA CE-01.
Subtítulo	

Autor (Es):

Apellidos y Nombres	Código CVLCA / e-mail
BARRIOS G., ENRIQUE E.	CVLAC: V-13.369.205 e-mail: enriquebarrios2510@hotmail.com
SALAZAR S., JOSÉ N.	CVLAC: V-16.068.144 e-mail: josesalazar1978@hotmail.com
	CVLAC: e-mail:
	CVLAC: e-mail:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Central eléctrica.

Gas combustible.

Simulador de procesos.

Deshidratación con tamices moleculares.

Hoja de Metadatos Para Tesis Y Trabajos de Ascenso

Líneas y sublíneas de investigación

Área	Subarea
Ingeniería	Ingeniería Química
	Simulador Hysys Plant
	Diseño de sistemas de deshidratación

Resumen (abstract):

En el presente trabajo se realizó la evaluación de las condiciones óptimas de alimentación del gas combustible a la Central Eléctrica CE-01. Para llevar a cabo este proyecto se efectuó una evaluación de la corriente de gas de alimentación utilizando el simulador Hysys Plant versión 3.1, para determinar las condiciones de operación actuales en la planta. Para dicha simulación fue necesario determinar la tasa de gas, teniendo como resultado 1,3 MMPCD para las condiciones actuales, donde se obtuvo que el gas llega a los equipos fuera de especificación. También se realizó la evaluación del escenario futuro de operación el cual consideró cambios de los equipos presentes y la instalación de nuevos equipos de la planta. Para este escenario se requiere una tasa de gas de alimentación de 3,308 MMPCD. Se diseñó un sistema de deshidratación con tamices moleculares y un calentador indirecto, esto para realizar el proceso de acondicionamiento de la corriente de gas de entrada y de esta manera se garantiza que dicha corriente llegará a cada equipo a las especificaciones requeridas.

Hoja de Metadatos Para Tesis Y Trabajos de Ascenso

Contribuidores:

Apellidos Y Nombres	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Rondón G. José J.	ROL	CA	AS	TU	JU (x)
	CVLAC:				
	e-mail:				
	e-mail:				
Avendaño P. Isvelia C.	ROL	CA	AS	TU	JU (x)
	CVLAC:				
	e-mail:				
	e-mail:				
Fariñas G. José G.	ROL	CA	AS	TU	JU (x)
	CVLAC:				
	e-mail:				
	e-mail:				
Briones C. Mario F.	ROL	CA	AS	TU	JU (x)
	CVLAC:				
	e-mail:				
	e-mail:				

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2007	08	10

LENGUAJE: SPA

Hoja de Metadatos Para Tesis Y Trabajos de Ascenso

ARCHIVO (S):

Nombre de archivo	Tipo MIME
CentralElectricaCE-01.Doc	application/msword

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: A B C D E F G H I J K L
M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2
3 4 5 6 7 8 9 _ -.

Alcance:

Especial: _____ (opcional)

Temporal: _____ (opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero de Petróleo

Nivel Asociado con el trabajo:

Pregrado

Área de Estudio:

Departamento de Petróleo

Institución:

Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui

Hoja de Metadatos Para Tesis Y Trabajos de Ascenso

DERECHOS

DE ACUERDO AL ARTÍCULO 44 DEL REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE: _____

“LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE Y SÓLO PODRÁN SER UTILIZADOS A OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, QUIEN LE PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO” _____

Barrios G., Enrique E.

Salazar S., José N.

Jurado
Ing. José Rondón

Jurado
Ing. José Fariñas

Jurado
Ing. Isvelia Avendaño

Jurado
Ing. Mario Briones

POR LA SUBCOMISION DE TESIS
