



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MINATITLÁN

TESIS

“EVALUACIÓN DE EFICIENCIA TÉRMICA A LOS HORNOS DE PIROLISIS DE ETILENO EN EL C.P. MORELOS.”

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA ENERGÉTICA

PRESENTA:

HERÓN DE AQUINO DE LOS SANTOS

ASESOR:

DR. ROBERTO RAMIREZ MESA

MINATITLÁN, VER. NOVIEMBRE 2010

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en general al Instituto Tecnológico de Minatitlán y en especial a las siguientes personalidades quienes por su apoyo me otorgaron la oportunidad de estudiar la Maestría en Ingeniería Energética por medio de una beca del CONACYT.

Dr. Roberto Ramírez Mesa que siendo el coordinador de la Maestría en Ingeniería Energética y asesor, apoyó con todo lo que tuvo en sus manos para darnos la oportunidad de aspirar a una beca CONACYT, mostrando siempre un enorme interés por el desarrollo académico de sus estudiantes.

M.C. René Yamamoto Arana que siendo maestro y amigo, siempre ha mostrado interés y disposición a nuestra persona, ha hecho posible el logro de hacer del postgrado un sistema de excelencia.

A todos y cada unos de mis amigos de la Maestría en Ingeniería Energética a los cuales les reconozco su desempeño e inteligencia y sus deseos de superación, a los cuales les he tomado afecto y admiración por su gran calidad humana.

DEDICATORIA

DEDICATORIA

Dedico en primera instancia este trabajo profesional a Dios por amarme y permitirme vivir y brindarme salud y así poder realizar todo lo que esté a mi alcance.

A mis padres Herón e Isabel a quienes amo profundamente, qué inspirados por Dios supieron guiarme por la senda de la rectitud con todo el amor que un hijo necesita para llegar asta el punto donde me encuentro.

A mi abuelita Rosario a quien amo y admiro, qué con toda su experiencia me ha sabido aconsejar y transmitir todo lo que ella ha podido. Qué con sus exigencias acertadas hacía mi persona han hecho de mi un hombre recto y comprometido.

A mí esposa Fidelina de quien estoy profundamente enamorado. Que ha sabido brindarme su amor y comprensión, qué a través del tiempo de conocernos hemos establecido vínculos que nos dan pauta a permanecer siempre juntos apoyándonos en todo lo que pretendamos realizar.

A mi hijo Aarón por ser mi primogénito y que es el motor que mueve a mi familia para ser mejores cada día.

RESUMEN

RESUMEN

Este trabajo profesional tiene el título de “Evaluación de eficiencia térmica a los hornos de pirolisis de etileno en el C.P. Morelos” y será elaborado por Herón De Aquino De Los Santos con asesoría del Dr. Roberto Ramírez Mesa.

En este proyecto se pretende realizar una recolección de información general de diseño y operacional a partir de un estudio exhaustivo en campo. Para posteriormente analizar la eficiencia térmica de los hornos de pirolisis que son capaces de transferir energía al proceso y poder definir las medidas conducentes a obtener un ahorro energético, y con esto poder aplicar medidas correctivas y preventivas con respecto al desempeño térmico de los equipos.

Por consiguiente se presentarán los resultados óptimos obtenidos, con esto determinar el potencial de ahorro energético partiendo del análisis energético y de las normas vigentes.

El presente proyecto se pretende elaborar en el periodo agosto de 2009 a diciembre de 2009, realizándose en el municipio de Coatzacoalcos, ubicado en el estado de Veracruz.

ABSTRACT

ABSTRACT

This professional work has the following title "Thermal efficiency evaluation for pyrolysis furnace ethylene in the CP Morelos" and will be elaborated by Herón De Aquino De Los Santos being advisor the Dr. Roberto Ramírez Mesa.

In this project it is tried to make a harvesting of general and operational information through of a field thorough study. Later to analyze the thermal efficiency to the pyrolysis furnaces that are to transfer energy to the process and being able to define the current measures to obtain a saving economical power, and with this potential to apply corrective and preventive measures with respect to the thermal performance of the equipment.

Therefore the obtained optimal results will appear, with this to determine the saving potential starting of energy analysis and the effective norms.

The present project is tried to elaborate in the period August of 2009 to December of 2009, being made in the municipality from Coatzacoalcos, located in the Veracruz state.

CONTENIDO

CONTENIDO

CONTENIDO	Página
AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	IV
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VIII
INTRODUCCIÓN	2
CAPITULO I. GENERALIDADES DE LA PLANTA DE ETILENO DEL C.P. MORELOS	
1.1 Antecedentes del C.P. Morelos.....	7
1.2 Ubicación general y específica de la empresa.....	7
1.3 Políticas generales.....	9
1.4 Misión del C.P. Morelos.....	10
1.5 Visión del C.P. Morelos.....	10
1.6 Política SSPA y sus principios.....	10
1.7 Organigrama de la empresa.....	11
1.8 Ubicación de la planta de etileno en el C.P. Morelos.....	12
1.9 Reseña de la planta de etileno.....	13
1.9.1 Descripción del proceso de obtención del etileno.....	14
CAPITULO II. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO SOBRE EVALUACIONES DE EFICIENCIA TERMICA A CALENTADORES A FUEGO DIRECTO.	
2.1 Visualización de las Fuentes energéticas.....	22
2.2 Calentadores a fuego directo.....	23

2.3 Normas aplicables.....	24
2.3.1 La diferencia entre obligatorio y voluntario.....	25
2.3.2 Razones para el uso de normas de eficiencia energética.....	26
2.4 NOM-002-ENER-1995.....	28
2.5 Efecto y análisis de temperatura de gases.....	29
2.6 Metodología de la evaluación de diagnóstico.....	30
2.7 Energía, exergía y costos energéticos.....	31
2.8 Análisis económico.....	32
2.8.1 Costos exergéticos.....	33
2.9 La CONUUE y la estrategia para el ahorro de energía.....	35

CAPITULO III. METODOLOGIA DE EVALUACIÓN DE EFICIENCIA TÉRMICA A CALENTADORES A FUEGO DIRECTO.

3.1 Desarrollo del diagnóstico en hornos de pirólisis.....	37
3.2 Metodología para balance térmico de un calentador a fuego directo.....	41
3.3 Determinación de las entalpías del aire y los productos de la combustión.....	49
3.3.1 Indicaciones generales.....	49
3.3.2 Método de calculo para la determinación de entalpías del aire y los productos de la combustión.....	49
3.3.3 Entalpías de los productos de la combustión cuando existe recirculación de gases.....	52
3.4 Balance térmico del horno.....	53
3.4.1 Indicaciones generales.....	53
3.4.2 Método de calculo para el balance térmico del horno.....	54
3.4.3 Determinación del calor disponible.....	55
3.4.4 Determinación de las perdidas de calor.....	56
3.5 Eficiencia bruta del horno.....	57
3.6 Calor útil.....	57

3.6.1 Consumo de combustible quemado o de cálculo.....	57
3.7 Cálculo de Entalpías y entropías de gases de combustión.....	58
3.8 Cálculo Exergético para combustibles.....	59
3.9 Cálculo de las pérdidas de capacidad de trabajo.....	59

CAPITULO IV. EVALUACION TECNICA Y ECONÓMICA DE LOS HORNOS DE PIRÓLISIS DE LA PLANTA DE ETILENO DEL C.P. MORELOS.

4.1 Sección 100 hornos de pirólisis (diseño).....	62
4.1.1 Descripción del proceso de los hornos de pirólisis.....	62
4.2 Condiciones del sitio.....	70
4.2.1 Condiciones climatológicas.....	70
4.3 Análisis de los hornos de pirólisis.....	71
4.4 Información de operación.....	74
4.4.1 Temperatura de gases de chimenea.....	74
4.4.2 Exceso de aire.....	74
4.4.2 Características del combustible.....	75
4.5 Cálculo de eficiencia térmica de los hornos de pirólisis con hoja de cálculo Excel de acuerdo a la norma API-560.....	76
4.6 Cálculo de eficiencia térmica de los hornos de pirólisis con simulador de acuerdo a metodología de la CONAE.....	82
4.7 Obtención de gráficos y análisis de las evaluaciones.....	83

CAPITULO V. RESULTADOS

5.1 Comprobación de la hipótesis.....	86
5.2 Respuestas a las preguntas de investigación.....	86
5.3 Objetivos evaluados.....	87

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones.....	90
-----------------------	----

6.2 Recomendaciones.....	91
--------------------------	----

BIBLIOGRAFIA.....	93
--------------------------	-----------

Índice de tablas

Tabla 3.1: Valores calóricos de algunos hidrocarburos.....	42
Tabla 3.2: Infiltraciones de aire en la superficie del horno.....	46
Tabla 3.3: Resultado del cálculo del valor calórico del combustible y aire...	48
Tabla 3.4: Entalpía de los gases y el aire.....	51
Tabla 3.5: Calores específicos de los gases y el aire.....	52
Tabla 3.6: Resultado de los cálculos de la entalpía de los productos de la combustión.....	53
Tabla 4.1: Localización eográfica.....	70
Tabla 4.2: Condiciones climatológicas del sitio.....	71
Tabla 4.3: Diagrama simplificado del horno de pirólisis.....	73
Tabla 4.4. Temperatura promedio de los gases de combustión.....	74
Tabla 4.5 Exceso de aire.....	75
Tabla 4.6 Composición del gas combustible.....	76

Índice de figuras

Figura 1.1: Ubicación del Complejo Petroquímico Morelos.....	8
Figura 1.2: Organigrama estructural.....	11
Figura 1.3: Ubicación de la planta de etileno.....	12
Figura 1.4: Panorámica de la planta de etileno.....	12
Figura 1.5: Diagrama de flujo del proceso de etileno.....	20
Figura 3.1: Diagrama de Sankey. Horno de pirólisis.....	60
Figura 4.1: Cabezal térmico, efecto chimenea, presión diferencial.....	71
Figura 4.2: 2 tipos de hornos de pirólisis, con entradas y salidas del hogar.	72

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En México existen diversos tipos de empresas petroquímicas dedicadas a los procesos de obtención de productos que sirven como materias primas principales para la elaboración de productos terminados. Estas en su variedad comprenden de instalaciones donde desperdician energía en su proceso, en la actualidad se encuentran métodos óptimos para el aprovechamiento energético en dichas plantas de proceso. Estas desviaciones se pueden apreciar mediante estudios y análisis a índices energéticos.

En las operaciones de destilación atmosférica y de vacío de crudos, y los modernos procesos de gas a alta temperatura, los hornos tubulares de calentamiento a fuego directo son factor importante en las Refinerías y Complejos Petroquímicos. En la Industria Petrolera se requieren hornos para manejar fluidos a temperaturas hasta de 840°C, tal es el caso concreto de los Hornos de Pirólisis usados en las Plantas de Etileno en la desintegración de la mezcla Etano/Propano en Etileno. En estos hornos se usa como combustible gas o también pudiera usarse combustóleo.

En el presente proyecto se pretende realizar una evaluación de eficiencia térmica de los hornos de pirolisis de etileno en el C.P. Morelos e implementar una metodología que permita determinar las pérdidas de energía térmica a partir de datos de diseño y operación y de normativas nacionales e internacionales.

Para la realización de dicho estudio debemos tomar en cuenta varios factores como la recolección de la información necesaria para llevar a cabo dicho estudio, realizar el procesamiento y el análisis de la información, evaluar los resultados y discutirlo técnicamente para poder establecer las medidas de ahorro, para poder llevar a cabo óptimamente el análisis energético.

En los hornos de pirólisis se pretende realizar un monitoreo a nivel de campo de datos de operación, para posteriormente calcular la eficiencia térmica y evaluar con respecto al diseño así como evaluar el índice energético base gas combustible de Diseño vs. El Real para obtener el margen de pérdida de energía y así determinar

su impacto económico anualizado y así poder aplicar medidas correctivas y preventivas con respecto al desempeño térmico.

Así también se presentarán resultados de mejora obtenidos, después de hacer una comparación con hojas de cálculos realizadas en Excel y apoyándose con la metodología (simulador) de la norma CONAE.

El presente proyecto se justifica de acuerdo que en la planta de etileno del C.P. Morelos los hornos de pirolisis operan bajo condiciones óptimas de eficiencia térmica, lo que representa una pérdida considerable de energía, deterioro del equipo, y un aumento en el consumo de la misma. En el presente trabajo se pretende realizar una evaluación de la eficiencia térmica y análisis del índice energético a los hornos de pirolisis a dicha planta tomando en consideración los datos de diseño y operación y de las normativas vigentes. Se quiere generar un impacto considerable en el ahorro de energía térmica, así como un buen desempeño de los equipos y aumento en su vida útil.

El objetivo general determinar y cuantificar las áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia térmica en la operación de hornos de pirolisis de la planta de etileno del C.P. Morelos, identificando las áreas de mejora a partir de datos de diseño y operación y de normativas nacionales e internacionales.

Teniendo que del objetivo general se desprenden los siguientes objetivos particulares:

- Realizar una recopilación de información de diseño y operacional a partir de un monitoreo general en campo.
- Calcular la eficiencia térmica individual de los hornos con hoja de cálculo de Excel apoyándose con la norma API-560 visualizando el impacto en la capacidad de producción.
- Evaluar la Pérdida de eficiencia térmica, con respecto a la operación de los componentes físicos del hornos (Radiación, Convección, refractario, quemadores), por su mal estado.

- Definir, localizar y evaluar las medidas conducentes a obtener un ahorro energético en los hornos de pirólisis mediante el análisis del índice energético.
- Calcular la eficiencia térmica de los hornos de pirólisis aplicando metodología (simulador) de la norma CONAE partiendo de la identificación de las partes a estudiar y evaluar.
- Establecer y recomendar modificaciones técnicas y económicamente viables que permitan incrementar su eficiencia térmica de operación después de haber establecido el estudio energético.

Para desarrollar el presente trabajo, partiendo de los objetivos mencionados se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- ¿En qué medida disminuirá el índice energético de los hornos de pirólisis, después de haber estudiado y evaluado la eficiencia térmica?
- ¿En qué medida se elevará la eficiencia térmica en los hornos de pirólisis después de haber establecido y realizado las recomendaciones técnicas?

De las preguntas de investigación surge la siguiente hipótesis:

- Hic: El aumento de la eficiencia térmica (VD) está influida en forma directa en la disminución del índice energético de los hornos de pirólisis (VI).

De lo anterior se desprenden las siguientes variables:

- Eficiencia Térmica que se expresa como Trabajo útil/trabajo consumido es en porcentaje, se calcula mediante una metodología de cálculo de acuerdo a las normativas vigentes, para los diferentes equipos que transfieren calor (Variable dependiente).
- Índice energético se expresa como MMBTU de combustible/Ton etileno producido, se obtiene mediante el balance diario de la planta.

Este proyecto de tesis corresponde al tipo descriptivo debido a que estudia los potenciales de ahorro de energía térmica en los hornos de pirólisis de la planta de etileno en el C.P. Morelos a través de normativas vigentes. Se puede considerar también de tipo correlacional debido a que vincula las variables operacionales con los índices energéticos.

El presente trabajo se ha diseñado con 6 capítulos, primeramente se detalla una parte introductoria la cuál nos da referencia de que se trata la tesis, aquí se explica detalladamente de que se trata el proyecto a realizar. En el capítulo I se describe las generalidades de la planta de etileno del C.P. Morelos que es lugar donde se desarrolló el proyecto. En el capítulo II se desarrolla el marco teórico donde se desarrolla el análisis bibliográfico sobre evaluaciones de eficiencia térmica a calentadores a fuego directo y las reseñas históricas correspondientes al proyecto. Asimismo se habla sobre los avances industriales que se ha tenido al aplicar estas evaluaciones energéticas térmicas. En el capítulo III se estudiara el levantamiento de datos en área de campo para su pertinente evaluación ya que de aquí se tomaran en cuenta la metodología de evaluación de eficiencia térmica que se aplicara al proyecto de acuerdo a lo antes mencionado para aplicar las estrategias y ver las áreas de oportunidad y derivar recomendaciones técnicas. En el capítulo IV se hará la evaluación técnica económica donde se partirá para dar las recomendaciones formales y pertinentes para la ejecución y puesta en operación del proyecto el cuál queda en manos de la administración realizarlo o ponerlo en practica según sea el caso.

CAPITULO I

CAPITULO I. GENERALIDADES DE LA PLANTA DE ETILENO DEL C.P. MORELOS.

1.1 Antecedentes del C.P. Morelos.

El Complejo Petroquímico Morelos es una empresa mexicana, filial de PEMEX-Petroquímica; orientada fundamentalmente a productos que la petroquímica mexicana requiere como materia prima para la industria procesadora y transformadora de fibras sintéticas, plastificantes, resinas sintéticas, elastómeros, solventes, etc. Es una de las empresas más importantes en América Latina dentro del ramo. Inició sus operaciones en Julio de 1988 y actualmente esta formada por ocho plantas de proceso, así como diversas instalaciones de integración, servicios auxiliares, apoyo y protección ambiental. La capacidad de las plantas de proceso y servicios auxiliares esta a la altura de las más grandes del mundo, lo que le permite obtener grandes volúmenes de producción y una operación bastante estable y segura de sus instalaciones donde se elaboran productos petroquímicos derivados del etileno y propileno, como por ejemplo: óxido de etileno, polietileno, acrilonitrilo, entre otros.

1.2 Ubicación general y específica de la Empresa

La empresa se localiza en la parte sur del estado de Veracruz-Llave, al este de la ciudad de Coatzacoalcos, a una distancia aproximada de 7km de la carretera Coatzacoalcos-Villahermosa. Sus instalaciones ocupan unas áreas totales de 475 hectáreas, localizadas en la importante zona industrial conformada por Minatitlán, Cosoleacaque y Coatzacoalcos, en donde se localizan las empresas: Petroquímica Pajaritos, Petroquímica.

Cangrejera y Terminal Marítima Pajaritos entre otras. Además de las plantas de proceso, donde se elaboran los productos que se comercializan, el complejo cuenta con otras áreas, como por ejemplo: áreas administrativas, áreas de almacenamiento, áreas de servicios auxiliares, entre otros.

El complejo cuenta con las siguientes vías de acceso:

- Terrestre. Por el camino de acceso de 2 carriles en ambos sentidos y camellón al centro. Dicho camino se interconecta con la carretera Coatzacoalcos-Villahermosa.
- Férreas. Se cuenta con un ramal de vías de ferrocarril, el cual se une a la línea de ferrocarriles unidos del sureste y se usa únicamente para movimiento de productos por ferrocarril.
- Marítima. Gran parte de los productos de Petroquímica Morelos son movilizados por buque-tanques a través de la Terminal Marítima de Pajaritos.
- Aérea. El complejo cuenta con helipuerto para uso exclusivo del personal de la empresa. Como vía de comunicación aérea comercial, se cuenta en la región con el aeropuerto de Canticas localizado a 20 Km. de la ciudad de Coatzacoalcos



Figura 1.1 Ubicación del Complejo Petroquímico Morelos.

1.3 Políticas generales

Impulsar la emisión y difusión de lineamientos y normatividad, relativas al Sistema Integral de Administración de Seguridad y Protección Ambiental y evaluar el cumplimiento de su aplicación.

Mantener criterios y lineamientos homogéneos para la atención de litigios y controversias en que se vea involucrada la Empresa.

Pugnar por generar y asegurar que el cumplimiento de estrategias de inversión, sean congruentes con los lineamientos del plan de negocios.

Pugnar por que los proyectos de inversión sean congruentes con las estrategias y políticas de la Empresa.

Mantener relaciones de negocios estratégicas con diferentes Empresas privadas.

Promover la diversificación de las líneas de negocio de la Empresa.

Promover líneas de acción estratégicas que orienten la conducción, coordinación y desarrollo de planes y programas de Petroquímica Morelos, para la optimización de los recursos humanos, financieros, materiales y tecnológicos, con una visión de servicios administrativos de alto desempeño, dentro de su ámbito de competencia.

Procurar que se difunda en la Empresa, las leyes, decretos, reglamentos, lineamientos, políticas y demás disposiciones vigentes en materia de adquisiciones, arrendamientos y servicios, así como vigilar su cumplimiento.

Proponer ante el Comité de Desincorporación de Activos improductivos, las solicitudes de bienes muebles calificados como obsoletos y canalizar a la unidad de Racionalización de Activos (URA), las solicitudes aprobadas para su enajenación.

Acatar la difusión de la normatividad corporativa y gubernamental en materia de estructuras orgánicas y ocupacionales.

Acatar el marco normativo en materia de hardware y software, comunicaciones, Internet e intranet.

1.4 Misión

Complejo Petroquímico Morelos, es una Empresa Filial de PEMEX Petroquímica que elabora y comercializa productos petroquímicos no básicos, para maximizar el valor económico de la Empresa, satisfaciendo la demanda del mercado, con calidad, seguridad y respeto al medio ambiente, a través de personal especializado y procesos con tecnología de punta.

1.5 Visión

Ser una Empresa de clase mundial, líder en el mercado, rentable, confiable, flexible y competitiva. Reconocida por la calidad de sus productos; con una arraigada cultura de servicio al cliente, respetuosa del medio ambiente, cuidadosa de sus relaciones con la comunidad y promotora del desarrollo integral de su personal.

1.6 Política SSPA y sus principios.

Ser una empresa eficiente y competitiva que se distinga por el esfuerzo y compromiso de sus trabajadores con la seguridad, salud y protección ambiental.

La Seguridad, Salud y Protección Ambiental son valores con igual prioridad que la producción, el transporte, las ventas, la calidad y los costos.

Todos los incidentes y lesiones se pueden prevenir.

La Seguridad, Salud y Protección ambiental son responsabilidad de todos y condición de empleo.

En PEMEX nos comprometemos a continuar la protección y el mejoramiento del medio ambiente en beneficio de la comunidad.

Los trabajadores estamos convencidos de que la Seguridad, Salud y Protección Ambiental son en beneficio propio y nos motivan a participar en este esfuerzo.

1.7 Organigrama de la empresa

El organigrama estructural del grupo directivo del complejo petroquímico Morelos, se presenta en la siguiente figura.

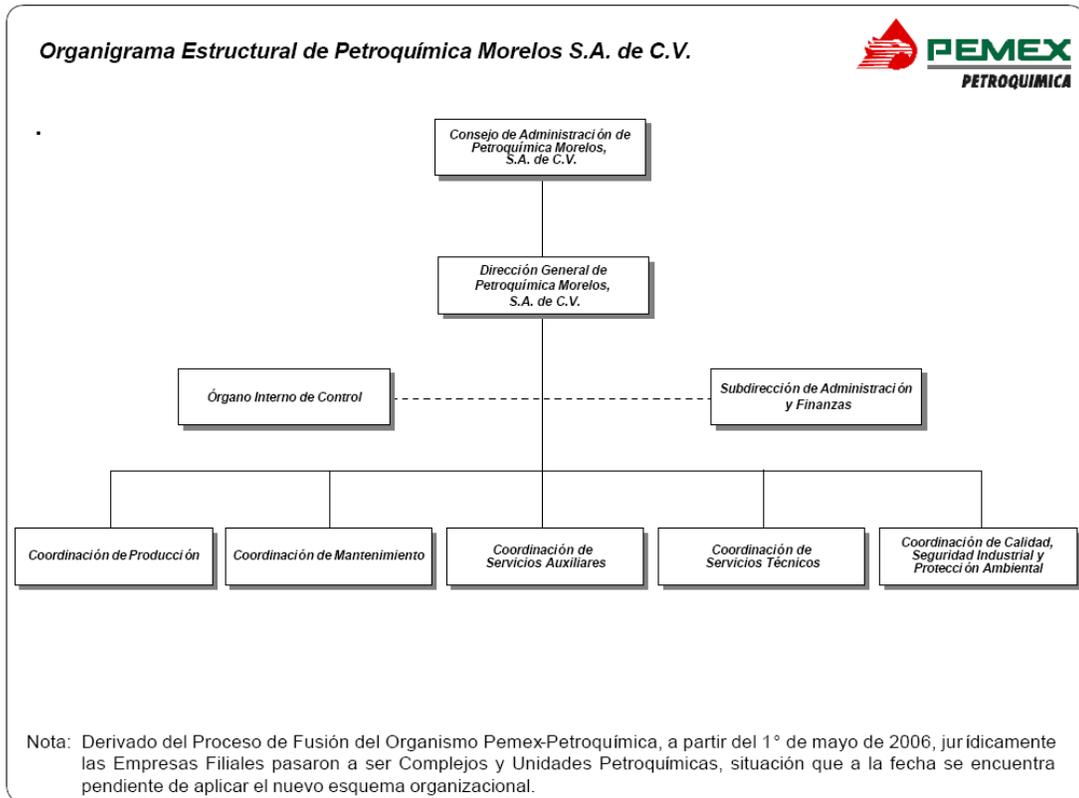


Figura 1.2. Organigrama estructural.

1.9 Reseña de la planta de etileno

La planta de etileno de Petroquímica Morelos fue diseñada por la compañía The Lummus Company en 1974 y la ingeniería de detalle fue realizada por el Instituto Mexicano del Petróleo. Esta planta entró en operación el 23 de abril de 1989. La planta fue recientemente modernizada y amplió su capacidad de producción de etileno grado polímero de 500 MTA a 600 MTA (septiembre-2002), manteniendo etano como carga. Para incrementar la capacidad de producción de etileno, se efectuaron modificaciones en cuatro hornos de pirólisis que garantizan la capacidad de ampliación, con un consumo máximo de 1.3 Kg. de etano fresco por Kg. de etileno producto. La capacidad actual de la planta es de 600,000 TMA de etileno producto de alta pureza a partir de una carga de etano de 94% mol de pureza, con un factor de servicio de 330 días de operación por año (7,920 horas de operación por año).

La planta cuenta con control distribuido (S. C. D.) para toda la planta y con control avanzado (S. C. A.) en los hornos de pirólisis.

La función de la planta de etileno es la producción de etileno de alta pureza mediante el craqueo térmico de la alimentación de etano fresco y etano/propano recirculado. En la sección de fraccionamiento de la unidad, se procesa además de las corrientes asociadas con la producción de etileno, una corriente rica en etileno proveniente de las purgas de la planta de polietileno del mismo centro petroquímico. La unidad de etileno es capaz de producir y separar las siguientes corrientes de subproductos:

- Corriente rica en hidrógeno
- Corriente rica en metano
- Propileno de alta pureza
- Propano

- Butano producto
- Pentano y pesados (gasolina pirólisis)

1.9.1 Descripción del proceso de obtención de etileno

La materia prima para la obtención de etileno es una corriente rica en etano enviado por la planta fraccionadora de hidrocarburos a una presión de 13 Kg/cm² y una temperatura de 37 °C. El flujo de alimentación de etano es de 2336 toneladas diarias.

El etano fresco de la planta fraccionadora de hidrocarburos se une con el etano recirculado controlándose una presión en este cabezal de 8.2 Kg/cm² con la válvula PIC-182 que regula la entrada de etano fresco, la carga combinada entra al precalentador EA-111 donde se le aumenta la temperatura a 60 °C adicionándosele a esta corriente una pequeña cantidad de sulfuro de dimetilo (merox) para reducir la formación de carbón y productos indeseables en los hornos de pirólisis de etano. La planta de etileno cuenta con 4 secciones en las cuales se llevan a cabo diferentes operaciones, a continuación se describen en forma breve su operación.

Sección de desintegración y apagado

La carga combinada de alimentación a los hornos de pirólisis de etano (BA-101/110) se controla con válvulas automáticas de control de flujo que se unen con vapor de dilución, la carga es alimentada a la zona de convección donde se precalienta a 662 °C y posteriormente entra a la zona de radiación donde se calienta a 831 °C. El efluente de los hornos se enfría en cambiadores de línea de transferencia (transfer) EA-101/110 A-B, hasta 315 °C donde se aprovecha el calor para generar vapor de alta presión (40 Kg/cm² y 404 °C).

Las principales variables de operación de los hornos de pirólisis de etano son:

- a) Tiempo de residencia
- b) Temperatura de salida del horno de pirólisis de etano

El tiempo de residencia en los hornos de pirólisis de etano es afectado por la relación vapor-etano de alimentación y por la presión de operación del horno.

En general, los tiempos de residencia más largos incrementan la producción de alquitrán y coque. Los estudios de las reacciones de pirólisis han demostrado la conveniencia de desintegrar con tiempos de residencia cortos. Los calentadores están diseñados para un tiempo de residencia de aproximadamente 0.6 segundos, Una relación de carga mayor que la de diseño y/o vapor de dilución disminuyen el tiempo de residencia mientras que una presión mayor aumenta el tiempo de residencia. La presión es controlada por la velocidad del turbocompresor (GB-201).

La temperatura de salida de la zona de radiación afectan la conversión en los hornos de pirólisis de etano, en general las temperaturas de salidas más altas incrementan la conversión de material de carga que da por resultados rendimientos más altos de etileno en los hornos; sin embargo un incremento de temperatura más arriba de la operación óptima da como resultado alta producción de productos indeseables, dando como consecuencia un alta conversión del material de carga pero baja selectividad en la producción de etileno.

Es conveniente enfriar los vapores de los efluentes de los hornos de pirólisis de etano inmediatamente para reducir al mínimo la desintegración residual que ocurre a temperaturas superiores a 649 °C y produce polimerización indeseable y otras reacciones de formación de alquitrán y coque, resultando en la pérdida correspondiente de etileno. El gas debe enfriarse a una temperatura apropiada también, antes de entrar al sistema de compresión de gas.

El enfriamiento se hace en tres áreas separadas de la torre de apagado (DA-101). En la primera área, el efluente que entra a la torre a 315 °C se enfría de

golpe por contacto directo con el agua a 79 °C. En la segunda área de la torre compuesta por platos tipo rejillas los gases parcialmente enfriados se ponen en contacto todavía con agua de apagado de los EA-112 A/B/C/D E/F/G/H a 54 °C.

Finalmente, el gas desintegrado se enfría en la tercera área de la torre compuesta por platos tipo balastras a 43 °C. El vapor de dilución que contenía el efluente de los hornos se condensa y se precipita para permitir la remoción de algunos aceites en un asentador de agua de apagado (FA-121). Los gases del domo de la torre de apagado libres de vapor de dilución pasan a la sección de compresión.

Sección de compresión y lavado cáustico.

El gas desintegrado después del enfriamiento súbito y de un enfriamiento adicional, se comprime en cuatro etapas a 39 Kg./cm². Entre cada etapa de compresión el gas se enfría para conservar bajas las temperaturas de compresión.

Las altas temperaturas durante la compresión del gas conducen a la polimerización y por lo tanto la obstrucción de la compresora, se inyecta un aceite de lavado en la línea de succión de cada etapa.

En la descarga de la tercera etapa que es de 17 Kg/cm² y una temperatura de 117 °C el gas se hace pasar a través de intercambiadores de calor en donde se enfría a 46°C antes de entrar a la torre de tratamiento cáustico y lavado (DA-201), el gas puede contener aproximadamente de 0.6 a 0.16 % mol de bióxido de carbono y 0.01 % mol de ácido sulfhídrico (H₂S) de impurezas a la entrada de la torre. Ambas se eliminan con una solución de sosa al 10 % y el gas purificado se lava finalmente con agua para eliminar la solución cáustica arrastrada.

El gas de procesos se trata en contracorriente y en contacto directo con la solución cáustica, el gas de procesos entra por el fondo de la torre saliendo por el domo libre de bióxido de carbono y ácido sulfhídrico. La solución cáustica al 10 % se alimenta al plato no. 4, se mantiene recirculando la sosa con dos bombas para

agotarla hasta 3 %, las recirculaciones son alimentadas al plato no. 4 en donde se une con la sosa fresca y al plato no. 18 de la torre. La sosa agotada se retira continuamente por el fondo a control de nivel enviándose para su tratamiento al límite de batería (L. B.).

El gas purificado se lava en los 3 platos superiores de la torre para eliminar la solución cáustica arrastrada. Después del tratamiento recibido regresa a la succión de la cuarta etapa, para comprimirse a 39 Kg/cm² y pasar a la sección de secado.

Sección de secado y enfriamiento.

El gas de la descarga de la cuarta etapa de compresión se seca en los secadores de gas de procesos (FF-201 & S). La absorción del agua se efectúa al hacer pasar el gas a través de tamiz molecular; se cuenta con dos secadores, cuando uno opera, el otro se encuentra generalmente en regeneración, enfriamiento ó disponible para operar.

La humedad de salida del gas de procesos no deberá exceder de 1 parte por millón (p. p. m.) por lo que se realiza el cambio de secadores cada 48 horas ó cuando el analizador de humedad en la parte media del secador tienda a incrementarse, el gas de proceso libre de humedad pasa a la sección de enfriamiento. El gas seco se enfría y se condensa parcialmente en 4 etapas por intercambio de calor con refrigerante de propileno en el compresor de propileno refrigerante (GB-501) con etileno en el compresor de etileno refrigerante (GB-601) y gas residual en el expansor/generador (GBT-301X), recirculación de etano, hidrógeno y metano a -34 °C, -70 °C, -98 °C y -150 °C.

Los fondos de los separadores FA-301/302/303/304 se envían como alimentación a la torre demetanizadora (DA-301) y en el cuarto separador se separa el hidrógeno por el domo del tanque. Una pequeña parte de este hidrógeno se alimenta al convertidor de acetileno (DC-401/S), haciéndolo pasar primero a través

del metanador (DC-301) para la eliminación del monóxido de carbono que es un veneno para el catalizador del convertidor de acetileno, otra cantidad pequeña es enviada a la planta de polietileno (Asahi) y la cantidad restante de hidrógeno se envía al cabezal de gas combustible para el consumo interno de la planta. Derivado del proyecto de ampliación de la planta fue necesario realizar cambios de equipos en el tren de enfriamiento, se retiraron los cambiadores EA-302, EA-306, EA-309, EA-331 y EA-311 siendo sustituidos por una caja fría (EA-334X) y por un expansor–generador (GBT-301X).

Sección de destilación.

Los fondos de los tambores de los separadores fluyen en tres corrientes a la torre demetanizadora (DA-301) entrando a los platos 6, 12 y 27.

La torre demetanizadora (DA-301) es una torre de destilación de platos que opera a una presión de 31.6 Kg/cm² y una temperatura de –76 °C en el domo y –0.6 °C en el fondo. Su función es eliminar el metano del gas proceso saliendo como producto por el domo y que se utiliza posteriormente como gas combustible en los hornos de pirólisis de etano. Los hidrocarburos más pesados salen por el fondo de la torre a control de nivel como alimentación hacia la torre deetanizadora (DA-401).

La torre deetanizadora (DA-401) opera a una presión de 24 Kg/cm² y una temperatura de –12 °C en el domo y 90 °C en el fondo. Su función consiste en separar el etano-etileno del propano y pesados, la torre consta de 54 platos. La alimentación de la torre proveniente de la torre demetanizadora (DA-301) se introduce en el plato no. 23, el etano-etileno sale por el domo de la torre a control de presión hacia los convertidores de acetileno (DC-401/S) y los fondos de la torre que es una corriente de propileno, propano, butanos y gasolinas son alimentados hacia la torre depropanizadora (DA-404) a control de nivel.

El domo de la torre deetanizadora (DA-401) es una corriente rica en etileno y etano, esta corriente lleva aproximadamente 3700 partes por millón (p.p.m.) de acetileno como contaminante, para eliminar el acetileno de la corriente, es necesario hacerlo pasar a través de una cama de catalizador en donde se hidrogena y se convierte en etileno.

El reactor (DC-401/S) opera a una presión de 23 Kg/cm² y una temperatura de entrada de 50°C aproximadamente, la temperatura de entrada se va incrementado con el paso del tiempo al perder actividad el catalizador, el efluente del convertidor de acetileno libre de impurezas se hace pasar a través del secador de etileno (FF-402) y posteriormente se envía a la torre fraccionadora etano-etileno (DA-402), donde se separa el etileno extrayéndose por el plato no. 11 y el etano que sale por el fondo es recirculado hacia los hornos de pirólisis de etano.

La torre fraccionadora de etano-etileno (DA-402) opera a una presión de 20 Kg/cm² y temperaturas de -26 °C en el domo y -6 °C en el fondo. Los fondos de la torre deetanizadora (DA-401) son alimentados a la torre depropanizadora (DA-404) donde se separa el propano y propileno por el domo de los butanos y gasolinas que salen por el fondo.

Los domos de la torre depropanizadora (DA-404) son alimentados a la torre fraccionadora propano-propileno (DA-406/407) donde se separa el propileno por el domo y el propano por el fondo. Los fondos de la torre depropanizadora (DA-404) son alimentados a la torre debutanizadora (DA-405) donde el butano sale por el domo separándose de los pentanos y pesados por el fondo.

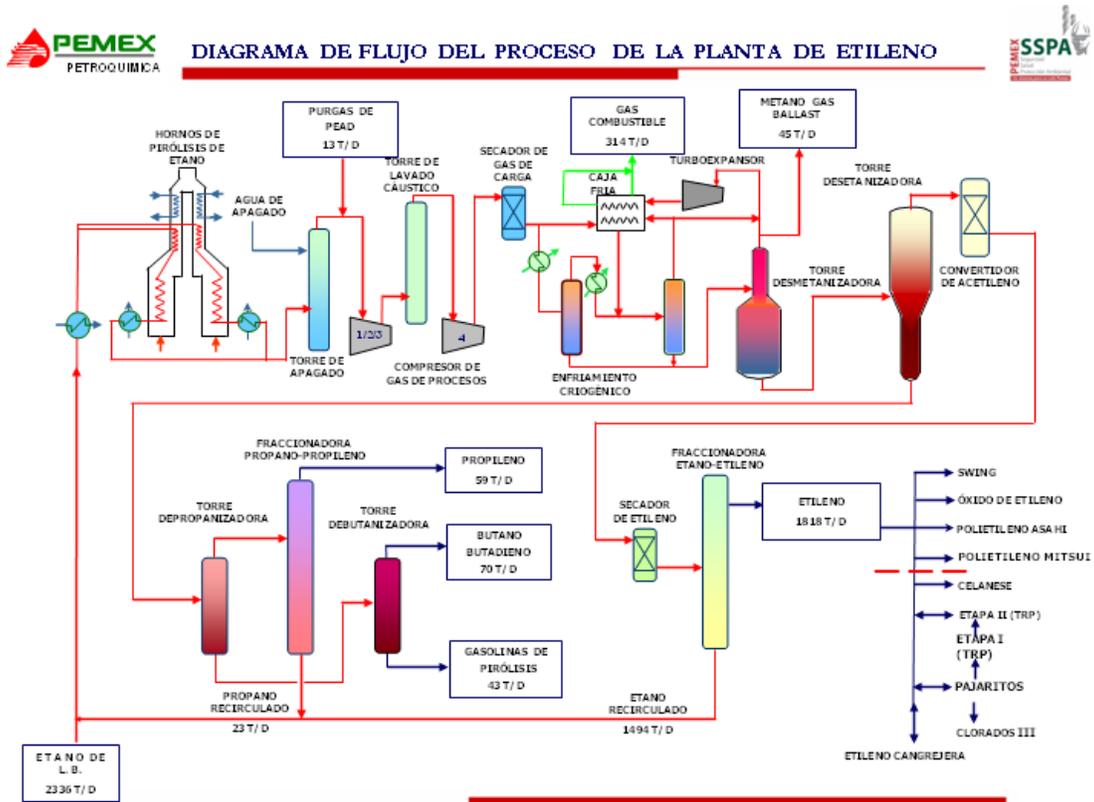


Figura 1.5. Diagrama de flujo del proceso de etileno.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO SOBRE EVALUACIONES DE EFICIENCIA TERMICA A CALENTADORES A FUEGO DIRECTO.

2.1 Visualización de las fuentes energéticas.

Hoy en día se tiene la necesidad mas que nunca de fuentes energéticas, que no contaminen y que además respondan con las necesidades que nuestra sociedad demanda para su pleno y total desarrollo; esta búsqueda a generado nuevas expectativas en relación de dichas fuentes energéticas ya que las mas comúnmente usadas son los hidrocarburos, el carbón, etc., esto nos indica que tenemos una necesidad de optar por fuentes energéticas limpias que disminuyan las emisiones de CO₂, debido que los cambios climáticos que el planeta nos presenta cada día son mas marcados y con frecuencia causan mayor daño a los hombres y todo por las emisiones que a diario se liberan en todo el mundo y principalmente los países mas desarrollados e industrializados.

Durante las últimas décadas, el crecimiento del suministro mundial de energía ha sido muy rápido; sólo entre 1973 y 1998 se incrementó 57%, en su mayor parte proveniente de petróleo, gas natural y carbón. La disponibilidad varía de una región a otra; por ejemplo, en la Federación Rusa la fuente más importante es el gas natural, pero en China el carbón provee hasta el 75% de la energía consumida. Para generar energía eléctrica podrían utilizarse como fuentes alternativas de energía la eólica y la solar. Técnicamente es posible; el problema consiste en que la concepción y el diseño de las más importantes infraestructuras actuales, el desarrollo de las tecnologías asociadas y su efecto multiplicador en la pequeña y mediana industrias, giran alrededor de la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón). Además, las infraestructuras para la generación y distribución de energía eléctrica constituyen uno de los más importantes factores en la transformación de paisajes, y la producción energética es la más importante fuerza conductora del calentamiento global. Durante las últimas décadas, las emisiones antropogénicas de “químicos” a la atmósfera provocaron cuantiosos problemas ambientales y de salud pública.

Todo esto es ocasionado por la alta demanda por los energéticos que han tomado una gran importancia en la vida cotidiana del hombre, y como solo mención cabe recordar los dos grandes apagones que sufrió la población de los Estados Unidos en Nueva York, cuando una de sus principales plantas generadoras de energía se colapso ocasionando estragos en esta urbe solo por mencionar esta y nos damos cuenta de la dimensiones e importancia que tiene el hacer un uso eficiente y racional de la energía.

Como bien sabemos la energía no se puede crear y ni destruir solamente se transforma a otro tipo de energía hoy en día se ha tomado muy enserio esta frase ya que los investigadores de países desarrollados están invirtiendo mucho en hacer uso de otras fuentes energéticas diferentes a las comúnmente utilizadas, en este renglón cabe mencionar las fuentes alternas de energía que como ya antes se mencionaron son una alternativa para prolongar la vida de los energéticos no renovables, además se pretende lograr la producción a gran escala que solo hoy en día es posible lograr con las técnicas conocidas como son las hidroeléctricas, las plantas nucleares, etc.

De ahí que es importante tomar en cuenta dos aspectos uno el aspecto ambiental que es un problema a nivel mundial y el aspecto energético que es importante para el desarrollo de un país.

2.2 Calentadores a fuego directo.

Los calentadores a fuego directo son equipos requeridos dentro de la industria de Refinación y Petroquímica para suministrar grandes cantidades de energía a corrientes de proceso contenidas en serpentines tubulares a partir de la combustión de combustibles líquidos y gaseosos, para elevar sus niveles de temperatura y modificar sus características químicas y físicas, para cumplir con las condiciones de proceso. Estos equipos son conocidos también como calentadores de proceso u hornos de proceso.

El diseño de un calentador a fuego directo requiere de un amplio conocimiento y experiencia que involucran problemas de transferencia de calor, combustión, flujo de fluidos, así como problemas mecánicos y estructurales, por lo que es importante especificar correctamente los calentadores y asegurarse que todos los elementos esenciales han sido considerados.

2.3 Normas aplicables.

Las normas de eficiencia energética son un conjunto de procedimientos y reglas que indican el consumo de los productos manufacturados y algunas veces prohíbe la venta de productos con menor eficiencia al mínimo establecido en las normas. El término “norma” generalmente incluye dos significados:

1) un registro bien definido (o procedimiento de prueba) a través del cual se puede obtener un cálculo bastante exacto del consumo de la energía de un producto como es utilizado generalmente, o por lo menos un rango relativo del consumo de energía comparado a otros modelos; y

2) un límite establecido sobre el consumo de la energía (generalmente un uso óptimo o una eficiencia mínima) basado en un registro de prueba específico. La palabra “norma” es utilizada ocasionalmente en lugar de “estándar” en Europa y América Latina para referirse a un límite establecido.

Existen 3 tipos de normas de eficiencia (ahorro) de energía:

- Normas establecidas
- Normas de consumo mínimo de energía y
- Normas de promedio general

Las normas establecidas requieren de una característica o dispositivo determinado para que sea instalado en todos los productos nuevos. Los estándares de rendimiento requieren eficiencias mínimas (o consumo óptimo de energía) que los

fabricantes deben lograr en cada producto, especificando el consumo de energía, pero no la tecnología o las especificaciones de diseño del producto.

Algunas otras normas internacionales son por ejemplo la Norma ASME, ANSI, aunque la Norma Oficial Mexicana es una compilación de las 2 antes mencionadas dada la experiencia industrial que se tienen en países donde se han desarrollado las anteriores que fueron elaboradas en los Estados Unidos de América.

En la presente tesis se apoyara de la norma de PEMEX NRF-089-PEMEX-2004 en conjunto con la API-560 y la metodología de la CONAE dichas normas nos servirán de guía para la elaboración de la evaluación energética térmica de los hornos de pirólisis de la planta de etileno en el C.P. Morelos.

2.3.1 La diferencia entre obligatorio y voluntario

¿Sería la mejor opción hacer obligatorio el uso de las normas y etiquetas?
¿Qué pasaría, si a los fabricantes y a los exportadores se les obliga legalmente a cumplir las normas a las que generalmente no se apegan, como sucedió en Europa en las décadas de 1960 y 1970 (Waide y colaboradores)?¹² ¿Es acaso suficiente la amenaza de utilizar las normas obligatorias para hacer efectivo un programa voluntario? Suiza ha llevado a cabo con éxito esta propuesta.

Los fabricantes japoneses cumplen habitualmente con “metas voluntarias” a pesar de que las reglas no mencionan métodos obligatorios ni ninguna sanción por no cumplir con los objetivos. En Japón, la amenaza de divulgar el

No cumplimiento de las metas es suficiente freno para lograr que las reglas de objetivos de eficiencia se conviertan en obligatorios.

Decidir si las normas y etiquetas deben ser obligatorias legalmente, es sólo un aspecto del proceso total para diseñar un mecanismo de comportamiento de los importadores, fabricantes, vendedores y consumidores. Programas exitosos pueden combinar un conjunto de aspectos legales, financieros y sociales, que dependan de la estructura, economía y cultura de la sociedad.

2.3.2 Razones para el Uso de Normas de Eficiencia Energética

Los requisitos para determinar el consumo de energía, son un elemento esencial en cualquier cartera gubernamental sobre las políticas de eficiencia energética y en los programas para atenuar los cambios climatológicos. Cuando los programas son bien diseñados o implementados, éstos retiran del mercado a los productos consumidores de energía que le cuestan al usuario mucho más en sus recibos de electricidad, aparte de la duración del producto cuando ahorraron en un costo inicial más bajo. Ellos pueden lograr esto haciendo lo que el sector privado no puede hacer, imponer requerimientos uniformes a todos los participantes del mercado. Por separado, cada uno de ellos puede promover el desarrollo de tecnología en el consumo de la energía, con un costo real y su difusión en le mercado. En conjunto, ellos pueden actuar como se muestra en la Figura 2-1, y supuestamente es la más eficaz de todas las políticas gubernamentales sobre el rendimiento de la energía, y tiene la ventaja de:

Gran potencial de ahorro de energía:

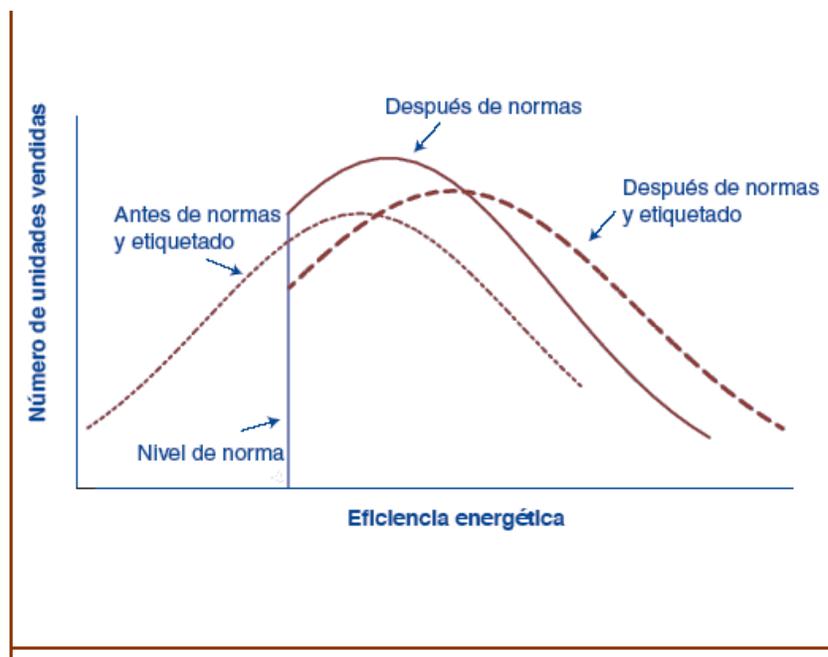


Figura 2.1 Potencial de ahorro de energía.

Enorme costo real, y una manera muy eficaz de limitar el crecimiento de energía sin limitar el crecimiento económico.

- Exigir un cambio en el comportamiento de un cierto número de fabricantes en lugar de todo el público consumidor.
- Tratar por igual a todos los fabricantes, distribuidores y pequeños comerciantes.
- Resultado en el ahorro de energía está generalmente asegurado, y es bastante sencillo. Cuantificarlo y puede ser verificado fácilmente.

Las normas incrementan la distribución de los productos con rendimiento eficaz de la energía que son vendidos en el mercado, al eliminar los modelos menos eficientes y establecer una línea de referencia para los programas que proporcionan incentivos por “sobrepasar los valores de norma”. El etiquetado incrementa la distribución de los modelos con rendimiento eficaz de energía, al proporcionar información a los consumidores para que puedan tomar una decisión más razonada y estimular a los fabricantes a diseñar productos que logren mayor puntuación con base a la especificación mínima de la norma. El resultado de tener normas y etiquetas bien diseñadas es disminuir el consumo innecesario de electricidad y combustible en los hogares y las oficinas, en las estufas, refrigeradores, hornos y calentadores de agua. La disminución en el uso de electricidad a su vez, disminuirá la combustión en las plantas de energía eléctrica. La disminución del costo real en el uso total del combustible tiene varias consecuencias beneficiosas, las seis más importantes se van a detallar en las siguientes secciones:

Disminución de la inversión de capital en la infraestructura del suministro de energía.

Mejoramiento de la eficiencia económica nacional reduciendo las facturas de energía.

Mejoramiento del bienestar del consumidor.

Cumplimiento de objetivos de cambio climático.

Reforzamiento de mercados competitivos.

Prevención de la contaminación urbana y regional.

2.4 NOM-002-ENER-1995

Que el Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000 ha propuesto, entre sus objetivos fundamentales, la promoción de un crecimiento económico vigoroso, sostenido y sustentable en beneficio de los mexicanos.

Que para impulsar y alcanzar este objetivo fundamental, el Plan Nacional de Desarrollo identificó diversas estrategias prioritarias entre las cuales destacan el uso eficiente de los recursos, la aplicación de políticas sectoriales pertinentes y el despliegue de una política ambiental que haga sustentable el crecimiento económico.

Que para lograr las metas establecidas por estas estrategias será necesario propiciar un aumento sistemático de la eficiencia general de la economía, así como impulsar la actualización tecnológica.

Que las reformas a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 28 de diciembre de 1994, delimitaron las facultades de la nueva Secretaría de Energía, mismas entre las que se encuentra la de expedir normas oficiales mexicanas que promuevan la eficiencia del sector energético.

Que la Ley Federal sobre Metrología y Normalización señala como una de las finalidades de las normas oficiales mexicanas el establecimiento de criterios y/o especificaciones que promuevan el mejoramiento del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales.

Que el Programa Nacional de Normalización 1995 publicado en el Diario Oficial de la Federación el 19 de abril de este mismo año contempla la expedición de diversas normas oficiales mexicanas, cuya finalidad es la preservación y uso racional de los recursos energéticos.

Que el programa de la Secretaría de Energía, para 1995 considera el ahorro y uso eficiente de la energía como una de las prioridades de la política sectorial.

Esta Norma responde a la necesidad de incrementar el ahorro de energía y la preservación de recursos energéticos; además de proteger al consumidor de

productos de menor calidad y consumo excesivo de combustible, que pudieran llegar al mercado nacional.

2.5 Efecto y análisis de temperatura de gases.

Es muy útil contar con una manera rápida de estimar el potencial de ahorro en combustible con base en reducción de la temperatura en chimenea o del exceso de aire.

Efecto de la temperatura de gases en la eficiencia. La medición de la temperatura de gases de salida en un calentador a fuego directo debe hacerse tan cerca como sea posible del punto donde los gases entran al sistema de ductos. Si se hace después de que los gases se han enfriado por pérdidas de radiación o infiltración de aire frío el resultado será erróneo. Si los gases se han enfriado mas adelante a través de un economizador, precalentador de aire u otro dispositivo de recuperación las mediciones deben hacerse después de estos equipos.

Análisis de combustión es muy importante entender el proceso de combustión para lograr una operación eficiente y segura en una planta. Un proceso de combustión perfecto implica una mezcla apropiada aire y combustible en proporciones exactas para que se consuma completamente. Esto se llama punto estequiométrico o relación ideal para combustión. Cualquier cantidad de aire por encima de esta se identifica como exceso de aire y consecuentemente como un desperdicio.

Eficiencia de Combustión, la energía total contenida en la unidad de masa de combustible menos la que transportan fuera de las calderas los gases de combustión, expresada en %, es lo que en la practica se designa como eficiencia de combustión y es una parte de la eficiencia total, sin embargo ya que el potencial mayor de reducción de combustible desperdiciado esta en mejorar la eficiencia de combustión es fundamental entender este proceso.

Análisis de O₂, tradicionalmente el análisis O₂ ha sido la base para controlar la combustión ideal este no existe, en la practica el contenido de O₂ libre en los

gases con eficiencia optima del equipo, puede variar de 0.5% a 5% o mas, dependiendo de la composición del combustible y otros factores. Con conocimientos y experiencia en combustión es posible un control adecuado con solo medir este parámetro, ya que se relación con el exceso de aire para cada combustible es monotónica, es decir existe solo un valor del contenido de oxígeno en los gases de combustión de un combustible, para cada valor de exceso de aire.

Prueba ORSAT, aún hoy esta en uso el aparato de ORSAT para medición de los contenidos en volumen de CO₂, O₂ y CO que se obtienen manualmente al pasar una muestra de gases en contacto sucesivamente con un reactivo químico diferente para la medición de cada elemento. La reducción en volumen en cada etapa nos da la cantidad del gas que originalmente contenía la muestra.

Este es uno de los métodos mas antiguos de medición, aunque sigue siendo útil presenta algunas desventajas: la lentitud para obtener resultados, el decaimiento de los reactivos que afecta su precisión, se requiere experiencia y pericia de quien lo usa a fin de poner acertadamente discriminar o desechar mediciones no confiables y, sobre todo, que el muestreo es sobre un volumen muy pequeño y obtenemos resultados puntuales con la posibilidad de tener cambios entre una lectura y la siguiente. En otras palabras la muestra puede no corresponder en tiempo al proceso que tenemos en el hogar cuando se trata de instalaciones mayores en calderas pequeñas y medianas este problema no existe.

En nuestro caso el único parámetro que nos interesa medir es el de la cantidad de Oxígeno en los gases de combustión el cual afecta en cuanto a la combustión que este haciendo el horno de pirolisis.

2.6 Metodología de la evaluación de diagnostico.

Las oportunidades de racionalización en el empleo de energía que generan beneficios superiores a los costos sin sacrificar la calidad del producto son rentables y por tanto atractivas. Todos los planes que consideran pequeños cambios operacionales y que pueden hacerse a un costo despreciable, entran en esta

categoría. Sin embargo muchos programas requieren de un costo capital, que pueden ser atomizados por los ahorros de energía generados durante la vida útil del proyecto.

Muchos programas que fueron incosteables, o posibles solamente como operacionales marginales, antes del aumento en los precios de los combustibles y la electricidad, son ahora económicamente justificables debido a los nuevos precios de dichos energéticos.

Es importante que se mantenga un criterio consistente en la evaluación económica de los proyectos de uso racional de la energía, es deseable tener una medida cuantitativa de la rentabilidad, de tal manera que puedan compararse diferentes alternativas bajo el mismo punto de vista. Debido a que un verdadero costo económico incluye costos de oportunidad de inversiones no realizadas, los programas deberían considerarse rentables, los programas deberían considerarse rentables únicamente cuando las tasas de rendimiento esperadas sean mayores que las obtenidas con alternativas de inversiones diferentes.

En realidad, las decisiones de inversión generalmente están basadas en otros factores además de la simple tasa de rendimiento, tales como riesgo, flujo de efectivo, impuestos, preferencia entre inversiones a corto y largo plazo y otros. Dado que estos factores pueden variar mucho en diferentes compañías no se consideran aquí.

Las metodologías desarrolladas hasta ahora se pueden clasificar en dos grupos, según el objetivo primordial, siendo.

La optimización del diseño o la operación del sistema energético

La asignación de costos a sus flujos internos y productos.

2.7 Energía, exergía y costos energéticos

Energía es el movimiento o habilidad de producir movimiento siempre se conserva en un proceso (primera ley, ley de la conservación).

Exergía es el trabajo o habilidad de producir trabajo siempre se conserva en un proceso reversible pero siempre es consumida en un proceso irreversible (segunda ley, ley de la exergía).

La noción de energía proporciona un enlace natural de la termodinámica y la economía. Puesto que la exergía de un flujo equivalente a la exergía mínima necesaria para producirlo, su costo puede igualarse al de dicha cantidad de exergía.

Si se toma la energía como base para la valoración, se asignaría el mismo costo a una misma cantidad de energía, cualquiera que fuese su forma (energía eléctrica, vapor de alta presión, vapor de baja presión, combustible, etc.) lo que sería evidentemente incorrecto.

Al tomar la exergía como base de medida, se tiene rigurosamente en cuenta la cantidad de exergía, esto es su capacidad real máxima de producir un efecto útil.

Las magnitudes termodinámicas de un proceso son absolutamente objetivas. Las económicas en cambio tienen un carácter subjetivo y pueden depender como ya se dijo de los criterios que aplique la empresa. Esto no significa en modo alguno que las formulaciones económicas tengan menos rigor que las termodinámicas, sino que el tratamiento económico riguroso suele requerir la aplicación de criterios que dependen de la situación concreta analizada. Recurrir a un análisis termoeconómico, permitirá determinar los costos de los productos mediante una combinación adecuada de los recursos de la termodinámica y de la economía, así como también, la optimización de los costos, de manera que las mejoras termodinámicas del proceso con la ayuda del análisis exergético, tendrán la finalidad de reducir el consumo de recurso para una producción dada con costo mínimo Y finalmente es importante observar que la asignación de costos diferentes por unidad de recurso, de acuerdo con su contenido exergético.

2.8 Análisis económico

El análisis económico permite conocer como se generan y fluyen los costos a través de un proceso térmico o químico e indica las áreas que representan el mayor

porcentaje de los mismos debido a que puede dar origen a uno o varios productos distintos en forma de materia o energía.

El costo total de los productos debe ser igual a los costos de la materia prima más el costo de la energía consumida en el proceso más los costos asociados a la operación, mantenimiento, administración y capital invertido.

Para efectuar el análisis económico es necesario conocer o estimar los costos involucrados en cada una de las áreas que integran una planta de procesos químicos o planta térmica, estos costos son:

Costos fijos: depreciación, amortización, impuestos, seguros, interés, mantenimiento, administración y capital.

Materiales, mano de obra, transporte, almacenamiento, combustible, energía eléctrica, la parte variable del mantenimiento y la administración.

Uno de los factores más importantes que afecta la selección del diseño de un proceso químico o sistema térmico es el costo del producto final, sin embargo, el precio del mercado de un producto es, en general afectado no solo por el costo de producción y los beneficios deseados sino por otros factores como la oferta y la demanda el suministro la competencia la regulación y los subsidios.

2.8.1 Costos exergéticos

Para un sistema operando en estado estacionario pueden existir un número de corrientes que entran y salen del sistema así como interacciones de trabajo y energía en forma de calor con los alrededores. Asociado a estas transferencias de materia y energía también existen transferencias de exergía hacia dentro y fuera del sistema así como la destrucción de exergía. Debido a que la exergía determina el verdadero valor termodinámico de estos efectos es conveniente asignar costos sobre la base de la exergía y no de la materia o energía.

La determinación de los costos exergéticos, el costo es asociado a cada corriente de exergía, esto aplica para cada corriente que entra y sale del proceso con

flujos asociados de exergía como es la materia, la potencia y la transferencia de exergía asociada con la transferencia de calor, donde se puede escribir.

Costo de los productos

$$Cp = (C_6 - C_5) + (C_8 - C_7)$$

Costo del combustible

$$Cf = (C_1 + C_2) - (C_3 + C_4)$$

Ecuación auxiliar de termodinámica

$$\frac{C_6 - C_5}{E_6 - E_5} = \frac{C_8 - C_7}{E_8 - E_7}$$

$$C_1 = c_1 E_1 = c_1 (m_1 e_1)$$

$$C_6 = c_6 E_6 = c_6 (m_6 e_6)$$

Donde:

$E_1 - E_9$: Flujos de exergía asociados a la materia (KJ/Kg) W :

c_1, c_6 : Son los costos promedio por unidad de exergía en pesos por Giga joule. (\$/GJ).

El costo exergético considera los costos de cada una de las corrientes que entran y salen del sistema, por lo tanto si se aplica un balance de costos para cada una de las corrientes, entonces la suma de los costos de las corrientes que salen del sistema será igual a la suma de los costos que entran al sistema mas los costos asociados al mantenimiento y operación, mas los costos del capital asociado a cada una de las corrientes. Lo anterior se puede resumir en:

$$\sum_e C_{e,k} + C_{w,k} = C_{q,k} + \sum_i C_{i,k} + Z_k^{OM} + Z_k^{CI}$$

Los costos de operación y mantenimiento mas los costos de capital y otros costos se pueden considerar como:

$$Z_k = Z_k^{CI} + Z_k^{OM}$$

Por lo tanto la ecuación puede escribirse como:

$$\sum_e C_{e,k} + C_{w,k} = C_{q,k} + \sum_i C_{i,k} + Z_k$$

Donde:

$\sum C_{e,k}$: Costos de las corrientes que salen del sistema (\$).

$\sum C_{i,k}$: Costos de las corrientes (\$)

Z_k^{OM} : Costos asociados a la operación y mantenimiento (\$)

Z_k^{CI} : Costos de capital asociados al sistema (\$)

Z_k : Costo total asociado al capital, operación, mantenimiento, y otros costos (\$).

Esta ecuación indica que el costo total de las corrientes de exergia que salen es igual al costo total de las corrientes de exergia que entran, más sus costos asociados de capital, operación y mantenimiento y otros costos. Considerando las ecuaciones se obtienen:

$$\sum_e (c_e E_e)_k + c_{w,k} W_k = c_{q,k} E_{q,k} + \sum_i (c_i E_i)_k + Z_k$$

2.9 La CONUUE y las estrategias para el ahorro de Energía.

La CONUEE antes CONAE que es la Comisión para el ahorro eficiente de Energía encargada aquí en México junto con el FIDE ha estado trabajando muy fuerte en la promoción del uso eficiente de la energía, trabajar en tres aspectos básicos como son: normalización, asistencia técnica y promoción. Cabe mencionar que en el momento que se hace una gestión de este tipo si es posible lograr ahorros por conceptos del uso eficiente que no solo recae en el echo de comprar equipos de alta eficiencia energética si no también en hacer conciencia al usuario de la importancia que se tiene cuando se evitan el mayor número desperdicio por el mal uso de los equipos que se ve reflejado en el consumo energético sino también en la vida útil del equipo.

CAPITULO III

Temperatura:	Es necesario contar con termómetros calibrados para tomar la temperatura de: salida del efluente de los hornos, vapor generado, combustibles, gases de combustión, aire ambiente, y vapor de dilución.
Flujo:	Mediante un equipo de medición de flujo instalado como placa de orificio, en las corrientes de: agua de alimentación, vapor generado y combustible.
Bulbo húmedo:	Es necesario contar con un psicrómetro o termómetro para tomar la temperatura de bulbo húmedo del aire.
Composición, poder calorífico, densidad relativa y capacidad calorífica del combustible(s):	Es necesario contar con la especificación del combustible
Composición de los gases de combustión:	Mediante el equipo de análisis de gases de combustión para determinar el contenido de O ₂ (%), CO ₂ (%) y CO (ppm).

B. Obtención de información general de los hornos de pirólisis.

- TAG de los hornos
- Condiciones de operación
- Datos de diseño del horno
- Costos del gas combustible

C. Análisis y revisión de la información general del horno de pirólisis.

Como puede apreciarse, el conocimiento previo al nivel de gabinete de la información descrita en el párrafo anterior, permitirá tener una visión inmediata y suficiente del sistema próximo a evaluar.

Dado que la siguiente etapa del desarrollo consiste en la recopilación de información detallada del sistema, dicha fase será mucho más redituable y efectiva por el hecho de conocer e inferir de antemano, la función y características operacionales del equipo en cuestión.

D. Recopilación de información detallada de diseño y operacional de los hornos de pirólisis.

Esta actividad de campo consiste en lo siguiente:

D.1 Localización e integración de documentos de diseño.

La documentación básica y fundamental para el desarrollo del estudio y evaluación energética es la siguiente:

- Hojas de datos de los hornos de pirólisis, necesariamente tiene que ser la generada o proporcionada por el proveedor de equipo
- Dibujo o plano del arreglo general de los hornos de pirólisis. También es un documento suministrado por el proveedor del equipo
- Diagrama de tubería e instrumentación del equipo. Documento elaborado durante el desarrollo de la ingeniería
- Diagrama de flujo del proceso del cual los hornos de pirólisis son parte. También es un documento elaborado durante el desarrollo de la ingeniería de la instalación

D.2 Levantamiento e integración de datos operacionales

- Requerimiento térmico de la planta de proceso

- Información de bitácora operacional. Los datos relevantes a los que se refiere en este punto son los siguientes

- Combustible

Tipo(s)

Temperatura

Presión

Flujo

Densidad Relativa

Poder(es) calorífico(s) superior(es)

Capacidad(es) calorífica(s)

Composición(es) (% en mol y/o % en peso)

- Gases de Combustión

Temperatura

Contenido de oxígeno (% en volumen)

Contenido de bióxido de carbono (% en volumen)

Contenido de monóxido de carbono (ppm)

E. Evaluación de eficiencia térmica (Lineamientos para evaluación)

Evaluación de la eficiencia térmica de los hornos de pirólisis, a las condiciones de operación, siguiendo las recomendaciones de la norma API 560. Para ello se requiere del levantamiento de información de las variables mencionadas en el punto anterior.

El procedimiento secuencial de esta etapa se describe en la sección de evaluación energética.

3.2 Metodología para el Balance térmico de un calentador a fuego directo.

El método de cálculo parte con la determinación del valor calórico del combustible, los volúmenes productos de la combustión, la determinación de las entalpías del aire y productos de combustión para de ahí proseguir, en ese orden con el balance térmico del horno de pirólisis. El método de calculo para la determinación del valor calórico del combustible y los volúmenes de los productos de la combustión y el aire, se determina a partir del valor calórico bajo del combustible y los volúmenes de los productos de la combustión. Para la determinación del valor calórico bajo del combustible se utilizan diferentes ecuaciones, de acuerdo con el tipo de combustible utilizado, las cuales se muestran a continuación:

Para combustibles líquidos y sólidos.

Ecuación 3.1

$$Q_{bc} = 339.147C^t + 1256.1H^t + 108.86(S^t - O^t) - 25.12(9H^t + W^t) \quad (\text{kJ/kg}).$$

Donde:

Q_{bc} : Valor calórico bajo del combustible.

C^t : Concentración gravimétrica de trabajo del Carbono en el combustible liquido o solidó (%).

H^t : Concentración gravimétrica de trabajo del Hidrogeno en el combustible liquido o solidó (%).

W^t : Concentración gravimétrica de trabajo de la humedad en el combustible liquido o solidó (%).

Para combustibles gaseosos, se requiere incorporar los valores calóricos de algunos hidrocarburos que pueden presentarse en forma gaseosa. Estos datos se presentan en la tabla 3.1.

Ecuación 3.2

$$Q_{bc} = 107.98H_2 + 126.36CO + 233.83H_2S + 0.01 \sum Q_{C_mH_n} \cdot C_mH_n \quad (\text{kJ/m}^3).$$

Donde:

Q_{bc} : Valor calórico bajo del combustible.

H_2 : Concentración volumétrica de trabajo del Hidrogeno en el combustible gaseoso (%).

CO: Concentración volumétrica de trabajo del Monóxido de carbono en el combustible gaseoso (%).

H_2S : Concentración volumétrica del sulfuro de hidrogeno en el combustible gaseoso (%).

C_mH_n :Concentración volumétrica de cada uno de los hidrocarburos en el combustible gaseoso (%).

M	N	M N	Q_{CMHN} KJ/M ³
1	4	CH ₄	35820
2	6	C ₂ H ₆	63750
3	8	C ₃ H ₈	91400
4	10	C ₄ H ₁₀	118000
5	12	C ₅ H ₁₂	146000
2	4	C ₂ H ₄	59070
3	6	C ₃ H ₆	86010
4	8	C ₄ H ₈	113200
5	10	C ₅ H ₁₀	141000
2	2	CH ₄	56000

Tabla 3.1.-Valores calóricos de algunos hidrocarburos.

Para la determinación de los volúmenes de los productos de la combustión se deberá tener en cuenta el volumen teórico del aire seco, los volúmenes teóricos de los productos de la combustión, los volúmenes reales, la fracción volumétrica de los

gases productos de la combustión, el volumen de los gases cuando hay recirculación y las fracciones volumétricas de estos gases cuando no hay recirculación.

Para determinar el volumen teórico de aire seco se utilizan diferentes ecuaciones.

Para combustibles líquidos:

$$\dot{V}_a = 0.889(C' + 0.375S') + 0.265H' - 0.033O'$$

Para combustibles gaseosos:

$$\dot{V}_a = 0.0476[(0.5*(CO + H2)] + 1.5*[H2S - O2] + \Sigma(m + \frac{n}{4}) \cdot C_m H_n$$

Volumen teórico de los productos de la combustión:

El volumen teórico de los productos de la combustión se determina a partir de la ecuación que a continuación se muestra:

$$V_g = \dot{v}_{CO_2} + \dot{v}_{SO_2} + \dot{v}_{N_2} + \dot{v}_{H_2O}$$

Este volumen teórico comprende además la determinación de:

- Volúmenes de gases triatómicos.
- Volumen teórico del nitrógeno.
- Volumen teórico del vapor de agua.

Volumen de gases triatómicos.

El volumen de los gases triatómicos se determina a partir de la ecuación:

$$\dot{V}_{RO_2} = \dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{SO_2} \tag{Ecuación 3.3}$$

La cual puede tener dos variables de acuerdo con el tipo de combustible que se utilice: Para combustibles líquidos y sólidos:

$$\dot{V}_{RO_2} = 0.01(1.866C' + 0.7S')(m^3 / Kg)$$

El volumen teórico de nitrógeno puede ser determinado a partir de dos ecuaciones, las cuales dependerán del tipo de combustible utilizado. Para combustibles líquidos y sólidos:

Ecuación 3.4

$$V_{H_2O} = 0.111H^t + 0.0124W^t + 0.0327\dot{V}_a + 1.24G_{at} \quad (\text{kJ/kg}).$$

Donde:

\dot{V}_{H_2O} : Volumen teórico del vapor de agua.

G_{at} : Flujo de atomización

$G_{at} = (0.02 \sim 0.1)(k_{gv}/k_{gc})$ para quemadores de CTE.

$G_{at} = (0.02 \sim 0.1)(k_{gv}/k_{gc})$ para quemadores industriales.

Para combustibles gaseosos:

$$V_{H_2O} = 0.01 \left[H_2 + H_2S + \sum \frac{n}{2} C_m H_n + 0.124w^*_g + 3.27V_a \right]$$

El volumen teórico de vapor de agua, posee ecuaciones diferentes que respondan al tipo de combustible utilizado. Para combustibles líquidos y sólidos:

Los volúmenes reales se hallan a partir de la determinación de: El volumen real de gases secos, El volumen real de vapor de agua, El volumen de gases. El volumen real de gases secos (v_{gs}) se determina a partir de la ecuación.

Ecuación 3.5

$$V_{gs} = V_{RO_2} + \dot{V} N_2 + (\bar{\alpha} - 1)\dot{V}_{at} \quad (\text{kJ/kg}).$$

Donde:

Ecuación 3.6

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha' + \alpha''}{2}$$

Donde:

α : Coeficiente de exceso de aire medio en la superficie.

α' : Coeficiente de exceso de aire a la entrada de la superficie.

α'' : Coeficiente de exceso de aire a la salida de la superficie.

Debiéndose plantear que para determinar α es necesario obtener primeramente el coeficiente de exceso de aire a la salida, el cual se calcula a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 3.7

$$\alpha'' = \alpha' + \Delta\alpha$$

Donde:

$\Delta\alpha$: Infiltraciones de aire en la superficie de transferencia de calor.

Estos coeficientes tienen en cuenta las infiltraciones de aire en el horno ($\Delta\alpha_h$) y en el sistema de combustible ($\Delta\alpha_s$). Para los cálculos del horno $\alpha = \alpha_h$. El volumen real de vapor de agua se determina a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 3.8

$$V_g = V_{gs} + V_{H_2O}$$

Donde:

V_g : Volumen real de los gases.

El volumen real de gases se halla a partir de la siguiente ecuación:

Las fracciones volumétricas de los gases productos de la combustión se haya a partir de: la fracción volumétrica de gases triatómicos, la fracción volumétrica del vapor de agua, la fracción volumétrica total de los gases. Esta fracción volumétrica de gases triatómicos se halla a partir de la ecuación:

Ecuación 3.9

$$r_{RO_2} = V_{RO_2} / V_g$$

Donde:

r_{RO_2} : Fracción volumétrica de los gases triatómicos.

Características	$\Delta\alpha$
Hornos de cámara	
Para combustibles líquidos y gaseosos sin enchapado metálico	0.08
De torbellino trabajando al vacío	0.03
Mecanizados y semimecanizados	0.1
Manuales	0.3
Conducto de gases de las superficies convectivas	
Sobrecalentador convectivo y de pantalla en el eje horizontal	0.03
Primer haz de tubos para $d < 13.9$ kg/s	0.05
Segundo haz de tubo para $d < 13.9$ kg/s	0.1
Sobrecalentador convectivo y recalentado en el eje conventico vertical (cada paquete)	0.03

Tabla 3.2. Infiltraciones de aire en la superficie del horno

Fracción volumétrica

Esta fracción se halla a partir de la ecuación siguiente

$$r_{H_2O} = r_{H_2O/v_g} = \frac{VH_2O}{V_g} = \frac{PH_2O}{Pt} \quad \text{Ecuación 3.10}$$

Fracción total de los gases

La fracción volumétrica no es más que la suma de la fracción volumétrica de los gases triatómicos más la fracción volumétrica del vapor de agua, se determinan a partir de la ecuación:

$$r_g = r_{RO_2} + r_{H_2O} \quad \text{Ecuación 3.11}$$

Masa de gases en los productos de la combustión

La masa de gases en los productos de la combustión se determina a través de la ecuación:

$$c_g = 1 - \frac{A^t}{100} + 1,327\alpha V_a \text{ (kg / kg)} \quad \text{Ecuación 3.12}$$

Volumen de gases cuando existe recirculación de gases (V_{gr}) se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$V_{gr} = V_g + rV_{gr} \text{ (m}^3 \text{ / kg) o (m}^3 \text{ m}^3 \text{)} \quad \text{Ecuación 3.13}$$

En la ecuación antes vista, V_{gr} se toma el volumen de gases en el lugar donde se realiza la recirculación, pero sin considerar la misma. A partir de este lugar se mantienen los valores de los volúmenes de gases calculados sin recirculación.

Fracciones volumétricas de los gases producto de la combustión cuando existe recirculación de gases

Estas fracciones volumétricas de los gases productos de la combustión esta formada por las fracciones volumétricas del vapor de agua y de los gases triatómicos.

Fracción volumétrica de vapor de agua

Esta fracción se determina por la siguiente ecuación:

$${}^v H_2O_r = \frac{{}^v H_2O + {}^{r \bullet} H_2O_r \bullet V_{gr}}{V_{gr}} \quad \text{Ecuación 3.14}$$

Fracción volumétrica de gases triatómicos

Se determina por la ecuación que a continuación se brinda:

$${}^v pO_2Or = \frac{{}^v RO_2 + {}^{r \bullet} RO_2r \bullet V_{gr}}{V_{gr}} \quad \text{Ecuación 3.15}$$

Fracción volumétrica total de los gases y vapor de agua

Esta fracción no es más que la suma de las fracciones volumétricas de vapor de agua y la fracción volumétrica de gases triatómicos.

$$v_{gr} = \frac{v H_2Or + r RO_2r}{\dots}$$

Ecuación 3.16

$v H_2Or + r RO_2r$ Se toman como las fracciones volumétricas de vapor de agua y gases triatómicos en el lugar donde se realiza la recirculación, pero sin considerar la misma. A partir de este lugar se mantiene los valores de las fracciones volumétricas calculadas sin recirculación.

Los resultados del cálculo de los volúmenes de aire, de los productos de la combustión y del vapor calorífico de los combustibles se reflejan en una tabla similar a la tabla 3.3.

Tabla de valor calorífico del combustible y volúmenes del aire						
parámetro	unidades	Resultado				
		Superficies				
		horno	Festón	SCC	ECON	CA
$\Delta\alpha$						
V_{gs}	**					
VH_2O	**					
Vg	**					
rrO_2						
rH_2O						
r_g						
μ_c	Kg/kg					
G_g	Kg/kg					
V_{gr}	**					
$v H_2Or$.					
r_{rO_2}						
r_{gr}						

Tabla 3.3. Tabla de resultado del cálculo del valor calorífico del combustible y los volúmenes del aire y de los productos de la combustión

* (kj/kg) o (kj/m³) ** (m/kg) o (m/ m³)

3.3 Determinación de las entalpías del aire y los productos de la combustión.

3.3.1 Indicaciones generales

Para dar cumplimiento a la determinación de las entalpías del aire y los productos de la combustión, primeramente es necesario determinar la entalpía teórica de la parte gaseosa y del aire contenido en los productos de la combustión, así como la entalpía de la ceniza arrastrada por los gases.

En estos cálculos se realizan para un nivel de temperaturas entre 373 – 2473 °K, con un intervalo entre ellos de 100 °K.

Posteriormente, se pasa al cálculo de las entalpías reales de los productos de la combustión en cada una de las superficies de las transferencias de calor, teniendo en cuenta el coeficiente de exceso de aire en cada una de las dichas superficies.

Estos cálculos se realizan para el nivel de temperatura posible de trabajo en cada una de las superficies, con un intervalo de 100K.

Este nivel de temperatura esta en dependencia de los valores recomendados y de la composición del horno.

Al igual que en el calculo de los volúmenes de los productos de la combustión, cuando existe recirculación de gases hacia el horno es necesario tenerlo en cuenta en la zona afectada por este motivo.

3.3.2 Método de cálculo para la determinación de las entalpías del aire y los productos de la combustión.

El método de cálculo esta dado para hallar la entalpía de los productos de la combustión y para determinar la entalpía de los productos de combustión cuando existe recirculación de gases.

Entalpías de los productos de la combustión

La entalpía de los productos de combustión se lleva acabo a partir de la siguiente ecuación:

$$I = I_g + I_c \quad (\text{KJ/Kg}) \text{ ó } (\text{KJ/m}^3) \quad \text{Ecuación 3.17}$$

Para determinar esta entalpía, es necesario hallar la entalpía de la parte gaseosa de los productos de la combustión y de la ceniza.

Entalpía de la parte gaseosa de los productos de la combustión.

La entalpía de la parte gaseosa de los productos de la combustión (I_g) se haya a partir de la ecuación:

$$I_g = {}^{\circ}I_g + (\alpha'' - 1) {}^{\circ}I_a \quad (\text{KJ/Kg}) \text{ o } (\text{KJ/m}^3) \quad \text{Ecuación 3.18}$$

Para resolver esta ecuación es necesario conocer primeramente la entalpía teórica de los gases (${}^{\circ}I_g$) y la entalpía teórica del aire (${}^{\circ}I_a$).

Entalpía teórica de los gases.

La entalpía teórica de los gases se calcula a partir de las siguientes expresiones:

$${}^{\circ}I_g = V_{RO_2} + i_{RO_2} + {}^{\circ}V_{N_2} \cdot i_{N_2} + {}^{\circ}V_{H_2O} \cdot i_{H_2O} \quad (\text{KJ/Kg}) \text{ ó } (\text{KJ/m}^3) \quad \text{Ecuación 3.19}$$

$${}^{\circ}I_g = (V_{RO_2} \cdot C_{RO_2} + {}^{\circ}V_{N_2} \cdot C_{N_2} + {}^{\circ}V_{H_2O} \cdot C_{H_2O}) (T_g - 273) \quad (\text{KJ/Kg}) \text{ ó } (\text{KJ/m}^3) \quad \text{Ecuación 3.20}$$

Se debe plantear; que I_{RO_2} ; i_{N_2} y i_{H_2O} se determinan con la temperatura de los gases T_g .

Mientras que C_{RO_2} ; C_{N_2} y C_{H_2O} se determinan con la temperatura de los gases (T_g)

Las propiedades del RO_2 se toman como las del CO_2 .

Entalpía teórica del aire

La entalpía teórica del aire se halla a partir de las siguientes expresiones:

$$i_a = v_a \cdot i_{air} \quad (\text{KJ/Kg}) \text{ ó } (\text{KJ/ m}^3) \quad \text{Ecuación 3.21}$$

$$i_a = v_a \cdot C_{air} \cdot (T_g - 273) \quad (\text{KJ/Kg}) \text{ ó } (\text{KJ/ m}^3) \quad \text{Ecuación 3.22}$$

La i_{air} se determina con la temperatura de los gases (T_g) en la tabla 3.4

T (K)	i_{CO_2} (KJ/m ³)	i_{N_2} (KJ/m ³)	i_{H_2O} (KJ/m ³)	i_{air} (KJ/m ³)
373	170,0	129,6	150,5	130,0
473	357,5	259,9	304,5	261,4
573	558,8	392,0	462,7	395,2
673	771,8	526,5	626,2	531,6
763	994,4	663,8	794,9	671,4
873	1 224,7	804,7	968,9	813,9
973	1 461,8	947,5	1 148,8	956,6
1073	1 704,9	1 093,6	1 334,4	1 107,4
1173	1 952,3	1 241,6	1 526,1	1 257,8
1273	2 203,5	1 391,7	1 722,9	1 409,7
1373	2 458,4	1 543,7	1 825,1	1 563,5
1473	2 716,6	1 697,2	2 932,3	1 719,2
1573	2 976,7	1 852,8	2 343,6	1 876,2
1673	3 239,0	2 008,7	2 559,2	2 033,9
1773	3 503,1	2 186,0	2 779,1	2 193,0
1873	3 768,8	2 324,5	3 001,6	2 350,8
1973	4 036,3	2 484,0	3 229,3	2 514,0
2073	4 304,7	2 643,7	3 458,3	2 678,1
2173	4 524,1	2 804,1	3 690,4	2 838,4
2273	4 844,1	2 965,0	3 625,6	3 002,0

TABLA 3.4 Entalpía de los gases y el aire

T (K)	C _{CO₂} (KJ/m ³ K)	C _{N₂} (KJ/m ³ K)	C _{H₂O} (KJ/m ³ K)	C _{air} (KJ/m ³ K)
373	170,0 2	1,295 8	1,505 2	1,300 4
473	1,787 3	1,299 9	1,522 3	1,307 1
573	1,862 7	1,306 7	1,542 4	1,317 2
673	1,929 6	1,316 3	1,565 4	1,328 9
763	1,988 7	1,327 6	1,589 7	1,342 7
873	2,041 1	1,304 2	1,614 8	1,356 5
973	2,088 3	1,353 6	1,641 2	1,370 8
1073	2,131 1	1,367 0	1,668 0	1,384 2
1173	2,169 2	1,379 6	1,695 7	1,397 6
1273	2,203 5	1,391 7	1,722 9	1,409 7
1373	2,234 9	1,403 4	1,750 1	1,421 4
1473	2,263 8	1,414 3	1,776 9	1,432 7
1573	2,289 8	1,425 2	1,802 8	1,443 2
1673	2,313 6	1,434 8	1,828 0	1,452 8
1773	2,335 4	1,444 0	1,852 7	1,462 0
1873	2,355 5	1,452 8	1,876 1	1,407 8
1973	2,374 3	1,461 2	1,899 6	1,478 8
2073	2,391 5	1,468 7	1,921 5	1,486 7
2173	2,407 4	1,475 8	1,942 3	1,493 9
2273	2,422 1	1,482 5	1,962 8	1,501 0

Tabla 3.5 Calores específicos de los gases y el aire

El c_{air} se determina en la tabla 3.5 con la temperatura de los gases (T_g).

3.3.3 Entalpía de los productos de la combustión cuando existe recirculación de gases

Esta entalpía se determina a partir de la ecuación:

$$I_r = (1 + r) \cdot I \quad (\text{KJ/Kg}) \text{ ó } (\text{KJ/m}^3) \quad \text{Ecuación 3.23}$$

A partir del lugar donde se realiza la recirculación de gases, las entalpías se mantienen con los valores calculados sin recirculación.

Los resultados de cálculo de las entalpías de los productos de la combustión se reflejan en la tabla 3.6

Tabla de la entalpía de los productos de las combustión									
T	I _a	I _g	I _c	I · I _r (*)					
				Superficies					
				Horno		Pantalla		Festòn	
				∞ _h =		∞'' =		∞'' =	
(K)	(*)	(*)	(*)	I	I _r	I	I _r	I	I _r
2473									

Tabla 3.6 Resultado de los cálculos de la entalpía de los productos de la combustión
*En KJ/Kg ó KJ/m³

3.4 Balance térmico del Horno.

3.4.1 Indicaciones generales

El primer aspecto que se determina en el balance térmico es la cantidad de energía disponible, que en forma de calor está apta para ser utilizada en la producción de etileno.

Esta energía disponible se puede descomponer en cuatro componentes: valor calórico del combustible, calor introducido por el vapor de dilución, calor debido al

calentamiento del combustible y calor debido al calentamiento del aire necesario, para la combustión antes de ser introducido en el horno.

Debe entenderse, de esta forma, que estos tres últimos elementos solo se tendrán en cuenta si existe vapor de dilución, calentamiento del combustible y precalentamiento del aire respectivamente.

Posteriormente se pasa a la determinación de las pérdidas de calor que puedan presentarse en los hornos pérdidas con los gases de la chimenea, pérdidas por in-combustión química, pérdidas por incombustión mecánica, pérdidas de calor al exterior a través de las paredes del horno y pérdidas de calor por infiltraciones de aire.

Algunas de estas pérdidas pueden ser calculadas a través de ecuaciones, otras a partir de nomogramas y las restantes se asumen dentro de valores recomendados.

Una vez determinada cada una de las pérdidas que puedan presentarse en los hornos, se procede a calcular el valor de la eficiencia bruta.

Del total de la energía disponible que entra al horno, una parte la conforman las pérdidas de calor y otra parte es realmente aprovechada por la sustancia de trabajo; esta última es el calor útil, el cual se determina a partir de la eficiencia y del calor disponible.

A partir del calor útil y conociendo los flujos de la sustancia de trabajo, así como su energía, puede determinarse el consumo de combustible; a partir de la cual, y debido a las pérdidas por incombustión mecánica, se determina realmente la cantidad de combustible que se quema en el horno.

3.4.2 Método de cálculo para el balance térmico del horno.

Para la realización del balance del horno se deben tener en cuenta varios aspectos:

- 1.- Determinación del calor disponible.
- 2.- Determinación de las pérdidas de calor.
- 3.- Eficiencia bruta del horno.

- 4.- Calor útil.
- 5.- Consumo de combustible.
- 6.- Consumo de combustible quemado o de cálculo.

3.4.3 Determinación del calor disponible

Para la determinación del calor disponible se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_d = Q_{bc} + Q_{pca} + Q_{at} + Q_{pc} \quad (kJ / Kg) \dot{\delta} \quad (kJ / m^2) \quad \text{Ecuación 3.24}$$

Es necesario plantear, que para determinar esto hay que tener en cuenta tres aspectos:

1. Calor físico del combustible.
2. Calor introducido por el vapor de dilución.
3. Calor físico de aire en el precalentador de aire.

*Calor físico del combustible

El calor físico del combustible se halla a través de la ecuación:

$$Q_{fc} = C_c \cdot (T_c - 273) \quad (kJ / kg) \dot{\delta} \quad (kJ / m^3) \quad \text{Ecuación 3.25}$$

Teniendo en cuenta para la ecuación el calor específico del combustible.

1.- Calor específico del combustible

Para la determinación del calor específico del combustible debe considerarse el tipo de combustible que se utilice:

Para combustibles líquidos:

$$C_c = 1,783 + 0,0025 (T_c - 273) \quad [kJ / (kg \cdot K)] \quad \text{Ecuación 3.26}$$

• Para combustibles sólidos:

$$C_c = 0.042W' + C_{cs} (1 - 0.01W') \quad [kJ / (kg \cdot K)] \quad \text{Ecuación 3.27}$$

Para combustibles gaseosos:

$$C_c = 0,01(C_{CO_2} \cdot CO_2 + C_{H_2} \cdot H_2 + C_{CO} \cdot CO + 0,0052 C_{H_2O} W_g + C_{H_2S} + H_2S + C_{C_m H_n} \cdot C_m H_n) [kJ / (m^3 \cdot K)]$$

Ecuación 3.28

3.4.4 Determinación de las pérdidas de calor

La determinación de las pérdidas de calor que se lleva acabo teniendo en cuenta:

- Pérdidas de calor con los gases de combustión. (q2)
- Pérdidas de calor por humedad del aire (q3)
- Perdidas de calor por paredes, techo y piso. (q4)

Perdidas de calor por los gases de combustión.

La determinación de las pérdidas de calor con los gases de escape se lleva acabo teniendo en cuenta el coeficiente de exceso de aire ala salida del GV y la entalpía teórica del aire frío.

$$q_2 = \frac{(I_{ge} - \alpha_{ge} \cdot I_{af})(100 - q_4)}{Q_d} (\%)$$

Ecuación 3.29

La entalpía de los gases de combustión (I_{ge}) se determina con la temperatura de los gases a la salida del horno (T_{ge}) en la tabla de entalpías de los productos de combustión.

Coeficiente de exceso de aire a la salida del horno.

Este coeficiente se halla a través de la siguiente ecuación:

$$\alpha_{ge} = \alpha_h + \sum \Delta \alpha$$

Ecuación 3.30

* Para nuestro país, en GV con CAT, deben tomarse valores superiores a 20 – 40 °C.

Entalpía teórica del aire frío

La entalpía teórica del aire frío se halla a través de las siguientes ecuaciones:

$${}^{\circ}I_{af} = {}^{\circ}V_a \cdot I_{af} \text{ (kJ/kg)} \delta \text{ (kJ/m}^3\text{)} \quad \text{Ecuación 3.31}$$

$${}^{\circ}I_{af} = {}^{\circ}V_a \cdot C_{af} \cdot (T_{af} - 273) \text{ (kJ/kg)} \delta \text{ (kJ/m}^3\text{)} \quad \text{Ecuación 3.32}$$

Pérdidas de calor al exterior a través de las paredes del GV.

Pérdidas de calor al exterior a través de las paredes del horno se obtienen a través de la ecuación:

$$q_5 = q_{5n} \cdot D_n / D(\%) \quad \text{Ecuación 3.33}$$

3.5 Eficiencia bruta del horno

La eficiencia bruta del horno se halla a partir de la ecuación:

$$\eta_b = 100 - (q_2 + q_3 + q_4)(\%) \quad \text{Ecuación 3.34}$$

3.6 Calor útil

El calor útil (Q_1) se determina como sigue:

$$Q_1 = \eta_b \cdot Q_d / 100 \text{ (kJ/kg)} \delta \text{ (kJ/m}^3\text{)} \quad \text{Ecuación 3.35}$$

3.6.1 Consumo de combustible quemado ó de cálculo.

El consumo de combustible (B) se determina según la ecuación siguiente:

$$B = B \cdot Q_1 / Q_1 \text{ (kJ/kg)} \delta \text{ (m}^3/s\text{)} \quad \text{Ecuación 3.36}$$

El consumo de combustible quemado o de cálculo se determina a partir de la ecuación que a continuación mostramos:

$$B_c = B \frac{100 - q_4}{100} \text{ (kg/s)} \delta \text{ (m}^3/s\text{)} \quad \text{Ecuación 3.37}$$

Los resultados de los cálculos del balance térmico del generador de vapor se tabulan de forma similar a como se muestra en la tabla 3.7.

Parámetro	Unidades	Ecuación	Resultado
-----------	----------	----------	-----------

Tabla 3.7 Resultados del balance térmico del horno.

3.7 Calculo de entalpías y entropías de gases de combustión.

Para poder lograr el calculo de la ΔS ($S_1 - S_0$) se utilizan tanto la primera ley de la termodinámica como la segunda en una llamada Unificada de 1ra. y 2da. Ley.

1ra ley $dq = dh - Vdp$ Ecuación 3.38

2da ley $dq = Tds$ Ecuación 3.39

Unificada:

$$ds = dh - Vdp$$

$$\frac{Tds}{T} = \frac{dh - Vdp}{T}$$

$$\int_0^1 ds = \int \frac{dh}{T} - \int \frac{V}{T} dp$$

$$s_1 - s_0 = Cp \int \frac{dT}{T} - \int \frac{RT}{P} dp$$

$$s_1 - s_0 = Cp \int dT - \int \frac{R}{P} dp$$

$$s_1 - s_0 = CpT - R \int \frac{dP}{P}$$

$$s_1 - s_0 = Cp \ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right) - R \ln \frac{P_1}{P_0} \quad \text{Ecuación 3.40}$$

Esto es en el caso de gases de salida pero para calcular la exergía se necesita calcular la diferencial de entalpía ΔH se hará de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$H_1 - H_0 = C_{p_{mezcla}}(T_1 - T_0) \quad \text{Ecuación 3.41}$$

Por lo tanto el cálculo de la exergía para los gases de salida será:

$$Ex = (H_1 - H_0) - T_0(S_1 - S_0) \quad \text{Ecuación 3.42}$$

Donde:

T_0 = Temperatura ambiente en °Celsius

3.8 Cálculo exergético para combustibles.

El método de cálculo se fundamenta en el cálculo del poder calorífico inferior Q_{bc} teniendo en cuenta su humedad, las ecuaciones son las siguientes:

Para líquidos:

$$Ex = .975Q_{bc} \quad \text{En Kj/Kg.} \quad \text{Ecuación 3.43}$$

Para gaseoso:

$$Ex = .95Q_{bc} \quad \text{En Kj/Kg.} \quad \text{Ecuación 3.44}$$

Estas ecuaciones son usadas para las siguientes condiciones $P_0=101,315 \text{ Pa.}$ y 298 K. Las ecuaciones anteriores son ecuaciones empíricas de aproximación que Chargut propuso.

Cálculo de las exergías de flama

$$Eq = BQ_{vc} \left(1 - \frac{T_0}{T_{flama}} \right) \quad \text{Ecuación 3.45}$$

3.9 Cálculo de las pérdidas de capacidad de trabajo

$$\Delta L = E_{ent} + E_q - E_{sal} \quad \text{Ecuación 3.46}$$

Perdidas totales

$$\Delta L_{3,4,5,6,7} = \Delta L_{total} - E_{qsalida} \quad \text{Ecuación 3.47}$$

Por lo cual el balance de exergía esta dada por la siguiente ecuación:

$$E_{entrada} = E_{salida} \quad \text{Ecuación 3.48}$$

$$E_{combustible} + E_{agua\ alim.} + E_{aire} = E_{vapor} + E_{gases\ comb.} + E_{purga} + \Delta L_{3,4,5,6,7} \quad \text{Ecuación 3.49}$$

Y se genera el diagrama de Sankey como se muestra a continuación:

Error! Not a valid link.

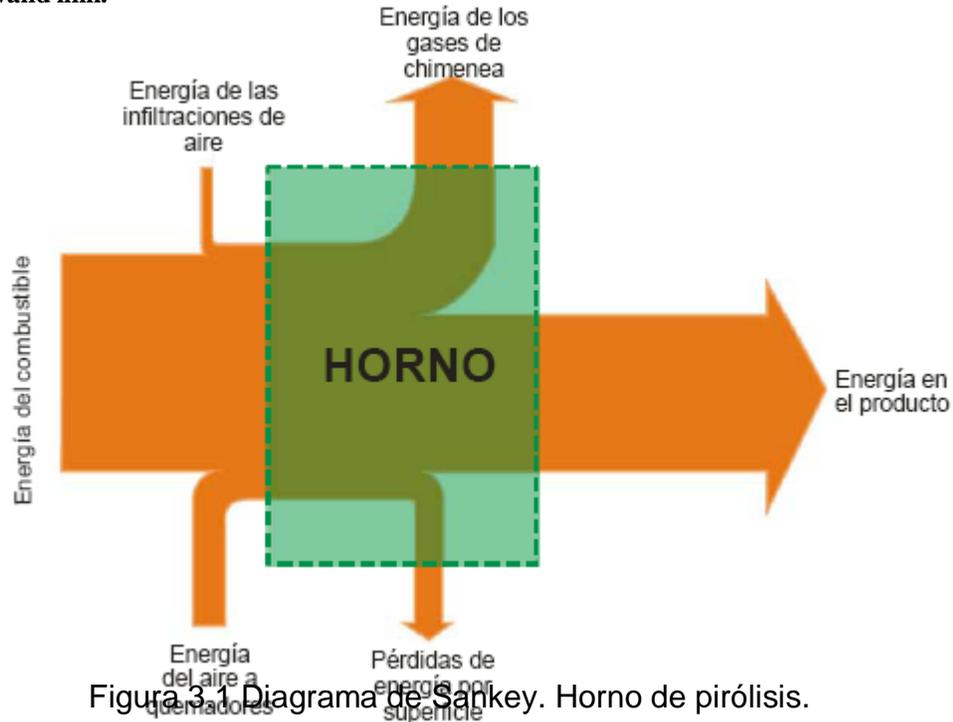


Figura 3.1 Diagrama de Sankey. Horno de pirólisis.

CAPITULO IV

CAPITULO IV. EVALUACION TECNICA Y ECONÓMICA DE LOS HORNOS DE PIRÓLISIS DE LA PLANTA DE ETILENO DEL C.P. MORELOS.

4.1 Sección 100 hornos de pirólisis (diseño).

La sección de pirólisis esta integrada por diez hornos, cuatro de ellos son modificados y los seis hornos restantes son no modificados, éstos últimos operan con dos sobrecalentadores de vapor.

4.1.1 Descripción del proceso de los hornos de pirólisis.

La alimentación de etano fresco se mezcla dentro de los límites de batería de la planta de etileno, con el etano y el propano de recirculación proveniente de las áreas de fraccionadores de etileno DA-402 y de propileno DA-406 respectivamente. A dicha mezcla se le incorpora una corriente de mercaptanos, con la cual se regula la concentración de azufre en la alimentación a pirólisis. Mediante esta regulación se consigue inhibir la formación de monóxido de carbono en los serpentines del horno.

La carga resultante se precalienta en el cambiador EA-111.m por medio de agua caliente proveniente de la torre de apagado DA-101.m, posteriormente se mezcla con vapor de dilución y se carga a los hornos de pirólisis modificados BA-101m/102m/109m/110m y a los hornos existentes que no serán modificados BA-103/104/105/106/107/108.

La carga en el horno pasa primeramente a la sección de convección para calentarse hasta la temperatura de conversión, después se transfiere a los serpentines ubicados en la sección de radiación, en donde se efectúan las reacciones de conversión.

El efluente gaseoso de los hornos de pirólisis, se envía a los cambiadores de calor de línea de transferencia (TLE). Los efluentes de pirólisis de los hornos modificados BA-

101.m/102.m/109.m/110.m, se envían a los nuevos TLE EA-101 A.r/B.r /102 A.r/B.r /109 A.r/B.r /110 A.r/B.r. El efluente gaseoso de los hornos que no se modificarán BA-103/104/105/106/107/108, se envía a los TLE EA-103/104/105/106/107/108. Mediante este intercambio de calor se logra el enfriamiento súbito de los efluentes gaseosos de los hornos, con el fin de dar término a la conversión de los hidrocarburos.

El calor extraído por el enfriamiento de los efluentes de pirólisis en los TLE, se utiliza para la generación de vapor a partir del agua saturada que proviene de los acumuladores de vapor que serán modificados FA-101.m/102.m/109.m/110.m, así como de los acumuladores existentes FA-103/104/105/106/107/108. En cada uno de estos acumuladores se separa vapor saturado de alta presión.

Los hornos modificados se dividen en dos secciones: una de convección y otra de radiación. En la sección de convección se realiza tanto el precalentamiento de carga y de agua de calderas, así como la generación de vapor sobrecalentado de alta presión. En la sección de radiación se lleva a cabo la reacción de conversión de hidrocarburos.

Cada horno modificado opera con un ventilador de tiro inducido y una chimenea de corta altura, para ello, se tiene cuatro nuevas chimeneas para los cuatro hornos modificados. Los ventiladores tienen como propósito vencer las caídas de presión de los nuevos bancos de serpentines del horno y con las nuevas chimeneas la planta tiene mayor flexibilidad de operación por cada horno.

Sección de Convección

La generación de vapor sobrecalentado de alta presión en los hornos modificados, se efectuará de manera distinta a como se efectúa actualmente en los hornos existentes, de esta manera se obtendrá una reducción importante en el consumo de gas

combustible requerido para la operación de los hornos modificados con respecto a los no modificados que operan conjuntamente con los sobrecalentadores BA-601 A/B.

La generación de vapor sobrecalentado de alta presión en los hornos modificados se inicia alimentando directamente el agua de caldera o desmineralizada a un banco nuevo de serpentines que opera como un economizador en la sección de convección, de este banco se obtiene agua saturada a una presión de 51 Kg/cm², que se alimenta al acumulador de vapor, de este último se obtiene por el domo, vapor saturado de alta presión. Este vapor es enviado a otro nuevo banco de serpentines de la sección de convección, que operará como una primera etapa para el sobrecalentamiento de vapor.

A la salida de este banco el vapor sobrecalentado pasa a un atemperador con agua desmineralizada libre de químicos, con ello se logra mayor generación de vapor, posteriormente el vapor de atemperación se retorna a un nuevo banco de serpentines de la sección de convección que operará como una segunda etapa para el sobrecalentamiento de vapor de alta presión. Finalmente el vapor sobrecalentado de alta presión que se genere en cada horno modificado, se enviará al cabezal principal en el límite de batería de la planta, en el cual se mezclará con el vapor sobrecalentado de alta presión que se genera en los sobrecalentadores BA-601 A/B que operan conjuntamente con los hornos no modificados.

En los hornos no modificados, el agua de alimentación a calderas pasa a la sección de convección de los sobrecalentadores BA-601 A/B, posteriormente el agua pasa a la sección de convección de los hornos BA-103/104/105/106/107/108, en donde se obtiene agua sobrecalentada que se alimenta a los acumuladores FA-103/104/105/106/107/108, de estos últimos se obtiene un vapor saturado el cual es enviado a la sección de radiación de los sobrecalentadores BA-601 A/B, de donde se obtiene vapor sobrecalentado de alta presión que se envía al cabezal principal en el límite de batería.

Las condiciones de operación, en la sección de convección de los hornos modificados son:

Área de convección

Banco del economizador	Unidad	
Flujo de alimentación de agua de calderas	Kg/hr	26,820
Temperatura de alimentación del agua	°C	138
Presión de alimentación del agua	Kg/cm ² man	52
Temperatura de salida del agua	°C	227
Presión de salida del agua	Kg/cm ² man.	51.8

Banco de la primera etapa de sobrecalentamiento de vapor

	Unidad	
Temperatura de alimentación del vapor	°C	264
Presión de alimentación del vapor	Kg/cm ² man.	51.0
Temperatura de salida de vapor	°C	366
Presión de salida de vapor	Kg/cm ² man.	48.2
Flujo de salida de vapor	Kg/hr.	26,295

Atemperador (2)

	UNIDAD	
Flujo de agua de calderas	Kg/hr	924
Temperatura de entrada de agua de calderas	°C	138
Temperatura de entrada de vapor	°C	366
Temperatura de salida de vapor	°C	332
Flujo de salida de vapor	Kg/hr	27,218

Banco de la segunda etapa de sobrecalentamiento de vapor

	Unidad	
Temperatura de alimentación de vapor	°C	332
Presión de alimentación de vapor	Kg/cm ² man.	47.7
Temperatura de salida de vapor	°C	404
Presión de salida de vapor	Kg/cm ² man.	45.6
Flujo de salida de vapor	Kg/hr.	27,218

Banco para precalentamiento de carga

	Unidad	
Temperatura de alimentación	°C	120
Presión de alimentación	Kg/cm ² man.	5.2
Temperatura de salida	°C	650
Presión de salida	Kg/cm ² man.	3.4
Flujo de entrada (3)	Kg/hr.	27,983

Sección del Crossover

El crossover está integrado por las líneas de paso que unen la sección de convección con la sección de radiación; su diseño es de tipo externo y provisto con soportes de resorte y con suficientes curvas de expansión para absorber las dilataciones térmicas. Las condiciones de proceso de diseño del crossover están fijadas por las condiciones a las cuales sale el fluido de proceso de la sección de radiación, estas condiciones de diseño son 746 °C y una presión de 10.5 Kgr/cm². La sección externa del crossover está provista de su respectivo aislamiento térmico. El material a emplear para esta sección es de 5" Sch 40 A312 tp 304H soldado.

Sección de Radiación

El serpentín de radiación existente de 6.5" de diámetro x 9 pasos x 4 serpentines por horno, con un tiempo de residencia de 0.85 seg. Los hornos modificados, por uno nuevo de 6" de diámetro x 5 pasos x 8 serpentines.

El nuevo arreglo de serpentines dará menor tiempo de residencia de 0.55 seg. y menor caída de presión de 0.562 Kg/cm², de esta manera se logra una alta selectividad y con ello se puede garantizar un consumo máximo de 1.3 Kg. de etano fresco de alimentación por Kg. de etileno producto.

Así mismo los hornos modificados opera al 60% de conversión de etano por paso con una relación en peso de vapor de agua/etano de 0.3.

La temperatura de salida de los gases de chimenea es de 180°C a 200°C y la temperatura de salida de los gases de pirólisis provenientes de los TLE es de 316°C promedio.

El gas combustible considerado para la operación de los hornos de pirólisis tiene la siguiente composición.

Componente % en Mol.	Arranque	Operación Normal
Hidrógeno	0.00	77.08
Metano	93.50	22.05
Etileno	0.00	0.19
Etano	5.85	0.58
Propano	0.60	0.06
C4+	0.05	0.00
Monóxido de carbono	0.00	0.04
Total	100.00	100.00
Poder calorífico bajo Kcal/kg	-----	16736
Peso Molecular	17.0	5.36
Presión disponible (kg/cm2)(man.)	2.32	3.70

Refractario y fibra cerámica

Las paredes expuestas y laterales de la sección radiante serán recubiertas con fibra cerámica y las paredes de los extremos y de los lados de la sección de convección con ladrillo refractario de acuerdo a la clasificación ASTM.

Las paredes de los arcos de cada horno, estarán construidas con un panel de ladrillo aislante de peso ligero, soportado seccionalmente.

La fibra cerámica y material refractario operan a una exposición directa a los gases de combustión, con los siguientes rangos de temperatura:

- Arco de la cámara radiante: Grupo 1420°C.
- Paredes de la cámara radiante: Grupo 1420°C.
- Paredes de convección inferior: Grupo 1260°C.
- Paredes de convección superior: Grupo 1090°C.

El material de aislamiento térmico de las paredes, será adecuado para temperaturas interiores de 870 °C.

Ventilador de tiro inducido

Los hornos modificados cuentan con un ventilador de tiro inducido, con el propósito de vencer el incremento de caída de presión en los nuevos bancos de la sección de convección y está diseñado para operar a una temperatura máxima de 340°C. La temperatura normal de los gases de chimenea será de 180-200°C.

El ventilador de tiro inducido es centrífugo de aspas planas, con un flujo normal a manejar de 72,576 kg/hr, con una presión estática de 63.5 mm. de agua y construido en acero al carbón, de acuerdo al código NAFM. Adicionalmente cumplirá con la norma NOM-080-STPS-1994 Y NOM-011-STPS-1994 Máximo 90 dB (A) medidos en el punto generador de ruido.

El motor de inducción del ventilador será de eficiencia Premium, tipo jaula de ardilla, su diseño y fabricación estarán de acuerdo con la Norma NEMA. Adicionalmente

cumplirá con la norma NOM-080-STPS-1994 Y NOM-011-STPS-1994 en cuanto a generación de ruido.

Chimenea

Los hornos modificados tienen una chimenea individual, cada chimenea tiene una altura adecuada para tener una disipación de los gases de combustión de acuerdo a las reglamentaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-085-ECOL-1994.

Cada chimenea está provista con un damper y éste es operado por un cilindro de aire que será accionado mediante una señal que proviene del SCD haciendo uso de un sistema neumático.

4.2 Condiciones del Sitio

Las condiciones del sitio que se aplicarán para la realización de la ingeniería de detalle y de todos los trabajos relacionados con el alcance de los trabajos, se indican a continuación:

4.2.1 Condiciones climatológicas

Las condiciones climatológicas del sitio, registradas en el Centro Meteorológico de la Comisión Nacional de Aguas, Coatzacoalcos, Ver., se indican a continuación.

1.- LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA	
Latitud :	18° 09' N
Longitud:	94° 24' O
Altitud:	14 m.s.n.m.
Presión Barométrica media:	759 mm Hg

Tabla 4.1: Localización geográfica del sitio.

Variable	Cantidad	Unidad	Nomenclatura
Temperatura Seca Verano =	37	°C	T _{BSe}
Temperatura Seca Invierno =	13.5	°C	T _{BSe}
Temperatura Humeda =	28	°C	T _{BHe}
Variacion diaria en 24 hrs =	10	°C	
Humedad Relativa =	90	%	H _{Re}
Altitud =	14	m.s.n.m.	---
Velocidad del viento =	18	Km/h	---
Direccion del viento =	Noroeste	---	---

Tabla 4.2: Condiciones climatológicas del sitio.

4.3 Análisis de los hornos de pirólisis.

En el proceso de producción de etileno del C.P. Morelos, existen 10 hornos que son calentados con gas combustible; éstos tienen que descargar los productos de la combustión a través de una chimenea.

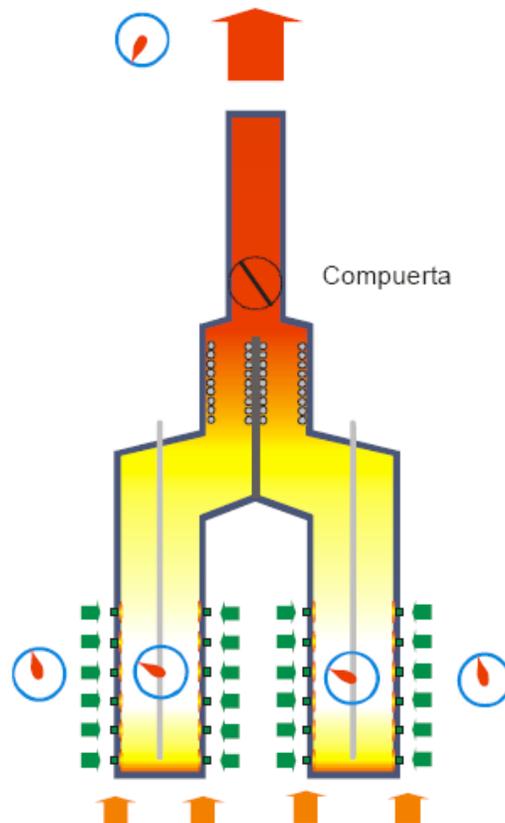


Figura 4.1: Cabezal térmico, efecto chimenea o presión diferencial.

Los gases calientes del horno son menos densos que el aire ambiente, por lo que suben, creando una presión diferencial entre la parte superior e inferior del horno. Esta diferencial, conocida como “cabezal térmico”, se muestra en la figura 4.1, es la fuente del tiro natural ó presión negativa.

El “cabezal térmico” es controlado por una compuerta que aumenta o disminuye el flujo de gases que salen por la chimenea aumentando la presión negativa, ver Figura 4.2. Para el caso de los hornos de etileno que tienen tiro inducido, la presión diferencial es producida por dos fuentes: la presión negativa y por la succión de un ventilador colocado en la parte alta del horno.

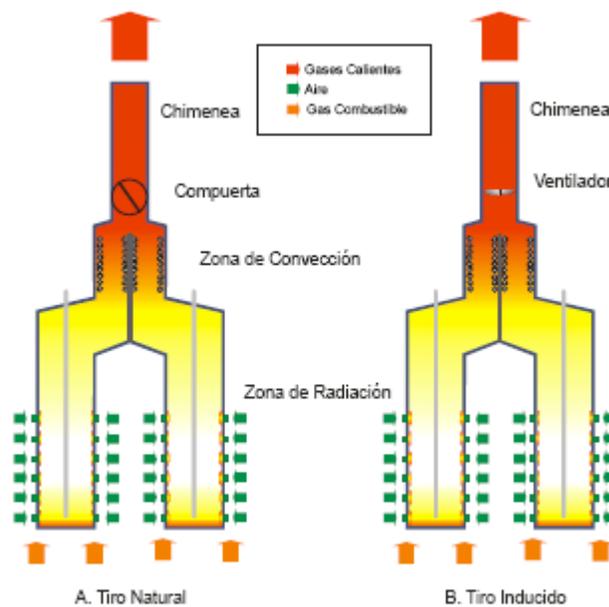


Figura 4.2: Dos tipos de hornos de pirólisis, con entradas y salidas del hogar.

Los gases calientes que salen de los hornos a través de la chimenea tienen gran cantidad de energía que no es utilizada en el proceso. Estos gases están compuestos por los gases producto de la combustión del gas y de un exceso de aire, el cual proviene de dos fuentes principalmente: el exceso de aire que se procura al quemador (para que la combustión sea completa) y de las infiltraciones de aire al hogar del horno por compuertas, mirillas y sellos del horno.

Actualmente se inyecta aire a los quemadores del horno situados en la entrada de la zona de radiación, este aire cuenta con un 21% de oxígeno que favorece la combustión y un 78% de nitrógeno el cual se lleva gran parte del calor al ser arrastrado por el efecto chimenea, lo que se puede considerar como un desperdicio.

El calor de la combustión, se trasmite dentro del hogar del horno por medio de dos fenómenos de transporte, radiación y convección, que conducen el calor del horno hacia los tubos en los que se lleva a cabo el proceso de pirólisis de etano para formar etileno. El fenómeno netamente predominante dentro del horno es el de radiación. No todo el calor es transportado hacia los tubos, ver Figura 4.3, una parte es desalojada junto con los gases de combustión que salen a una temperatura mayor que la del ambiente; para recuperar este calor se tienen varias opciones: hacer más grande la zona de convección para enfriar los gases de combustión o reducir la cantidad de estos gases hasta lo mínimo posible.

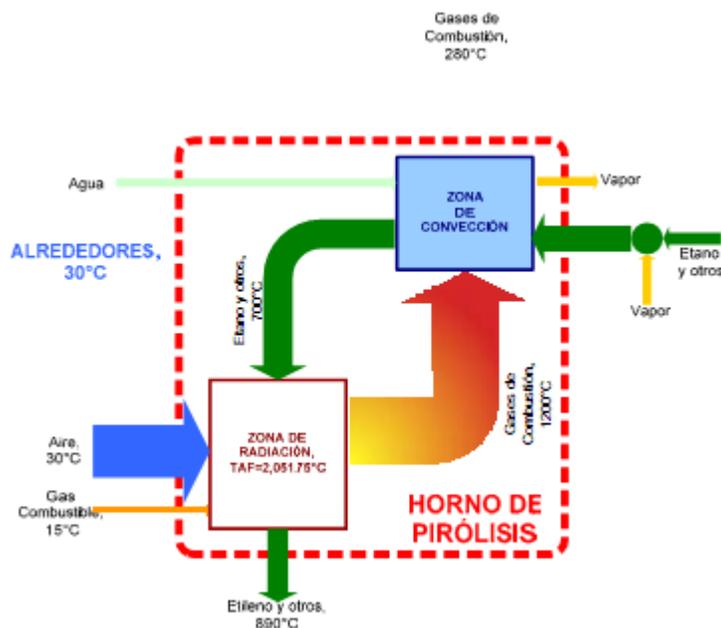


Figura 4.3: Diagrama simplificado del horno de pirólisis.

4.4 Información de operación.

La información de operación que se utilizó en este estudio corresponde al mes de julio del presente año, a excepción del horno BA-103 para el que se utilizó información de junio debido a que en julio estuvo en mantenimiento. En los puntos siguientes, se indican los valores de temperatura de gases y el exceso de aire que se consideró en el estudio.

4.4.1 Temperatura de gases de chimenea

En la tabla siguiente se indica la temperatura promedio de los gases de combustión a la salida de la sección de convección (temperatura de chimenea), resultante de promediar los valores de esta variable recopilados de las bitácoras de operación para cada uno de los hornos.

HORNO	BA-101	BA-102	BA-103	BA-104	BA-105
Temperatura de Chimenea, °C.	210.5	204.3	355.7	353.8	312
HORNO	BA-106	BA-107	BA-108	BA-109	BA-110
Temperatura de Chimenea, °C.	290	309.8	346.4	199.7	229.4

Tabla 4.4. Temperatura promedio de los gases de combustión.

4.4.2 Exceso de aire

La información de exceso de aire utilizado en este trabajo proviene de dos fuentes, una de los registros en bitácora de los analizadores continuos instalados en algunos hornos y la otra del monitoreo realizado el 22 y 23 de julio del presente año. Los

hornos del BA-103 al BA-108 cuentan con analizador continuo de oxígeno, mientras que los hornos BA-101, BA-102, BA-109 y BA-110 no cuentan con analizador.

En la siguiente tabla se indica el valor promedio del exceso de aire, resultado de promediar los registros del mes de julio para los hornos que cuentan con analizador continuo y los resultados del monitoreo mencionado.

%EXCESO DE AIRE (%O ₂) \ HORNO	BA-101	BA-102	BA-103	BA-104	BA-105
De analizador continuo de los hornos	No Cuenta	No Cuenta	Descalibrado	21.5 (4.16)	21.5 (4.12)
De monitoreo 22 y 23 de julio.	11.2 (2.3)	Sin Dato	Sin Dato	38.5 (6.3)	22.4 (4.2)
%EXCESO DE AIRE (%O ₂) \ HORNO	BA-106	BA-107	BA-108	BA-109	BA-110
De analizador continuo de los hornos	Descalibrado	28 (5.14)	Descalibrado	No Cuenta	No Cuenta
De monitoreo 22 y 23 de julio	22.4 (4.2)	51 (7.6)	47 (7.2)	20 (3.8)	20 (3.8)

Tabla 4.5 Exceso de aire.

4.4.3 Características del combustible.

Los hornos de etileno utilizan gas combustible residual en su operación, la composición promedio del gas combustible capturado del sistema SAQL del laboratorio del C.P. Morelos se muestra en la siguiente tabla.

Composición del gas combustible	Frac. Mol
Hidrogeno	0.7335
Metano	0.2474
Etano	0.0071
Propano	0
Isobutano	0
n-Butano	0
Isopentano	0
n-Pentano	0
Hexano	0
Nitrógeno	0.0097
Etileno	0.0023
Dióxido de carbono	0
Ácido Sulfúrico	0

Tabla 4.6 Composición del gas combustible.

4.5 Cálculo de eficiencia térmica de los hornos de pirólisis con hoja de cálculo Excel de acuerdo a la norma API-560.

La eficiencia térmica se determinó mediante la metodología de la norma API-560. La eficiencia térmica se define de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Eficiencia térmica} = \text{Calor total absorbido} / \text{Calor total suministrado} \times 100$$

Mediante el balance de calor, la eficiencia también se puede calcular con la siguiente expresión:

$$\text{Eficiencia térmica} = (1 - \text{Pérdidas totales de calor} / \text{Calor total suministrado}) \times 100$$

La segunda expresión corresponde al método indirecto o de pérdidas y es el que se utilizó en el cálculo de la eficiencia térmica en este estudio. Por otra parte, se utilizó

como base el poder calorífico inferior por lo tanto la eficiencia obtenida es la eficiencia térmica neta.

A continuación se muestra el desarrollo del cálculo realizada en hoja de cálculo de Excel apoyada con la norma API-560, de la eficiencia térmica de uno de los hornos de pirólisis modificados el BA-101.

1.- Se ingresan los datos de concentración del gas combustible utilizado, con las condiciones de operación obtenidas en bitácora en conjunto con las de diseño de igual manera las condiciones del sitio donde se realizó el estudio.

CALCULO DE LA EFICIENCIA TERMICA EN CALENTADORES A FUEGO DIRECTO

PLANTA: **ETILENO** FECHA: **17-Ago-09**

Especifique el equipo a determinar la eficiencia

EQUIPO: **BA-101** **ACEPTAR**

Datos para el cálculo de la eficiencia en calentadores a fuego directo

CARGA DE ETANO AL HORNO	21.6	TON/HR
--------------------------------	------	--------

Composición del gas combustible	Frac. Mol	
Hidrogeno	0.7335	
Metano	0.2474	
Etano	0.0071	
Propano	0	
Isobutano	0	
n-Butano	0	
Isopentano	0	
n-Pentano	0	
Hexano	0	
Nitrógeno	0.0097	
Etileno	0.0023	
Dióxido de carbono	0	
Ácido Sulfúrico	0	

Temperatura ambiente	32	°C
Temperatura de gases de combustión	210.5	°C
Temperatura media del techo	72	°C
Temperatura media de la pared	72	°C
Temperatura media del piso	72	°C
Flujo del combustible	1787.96	m3/hr
Exceso de Oxígeno en la salida	3.15	%
Velocidad del viento	18000	m/hr
Amperaje consumido por el ventilador	69.11	Amperes

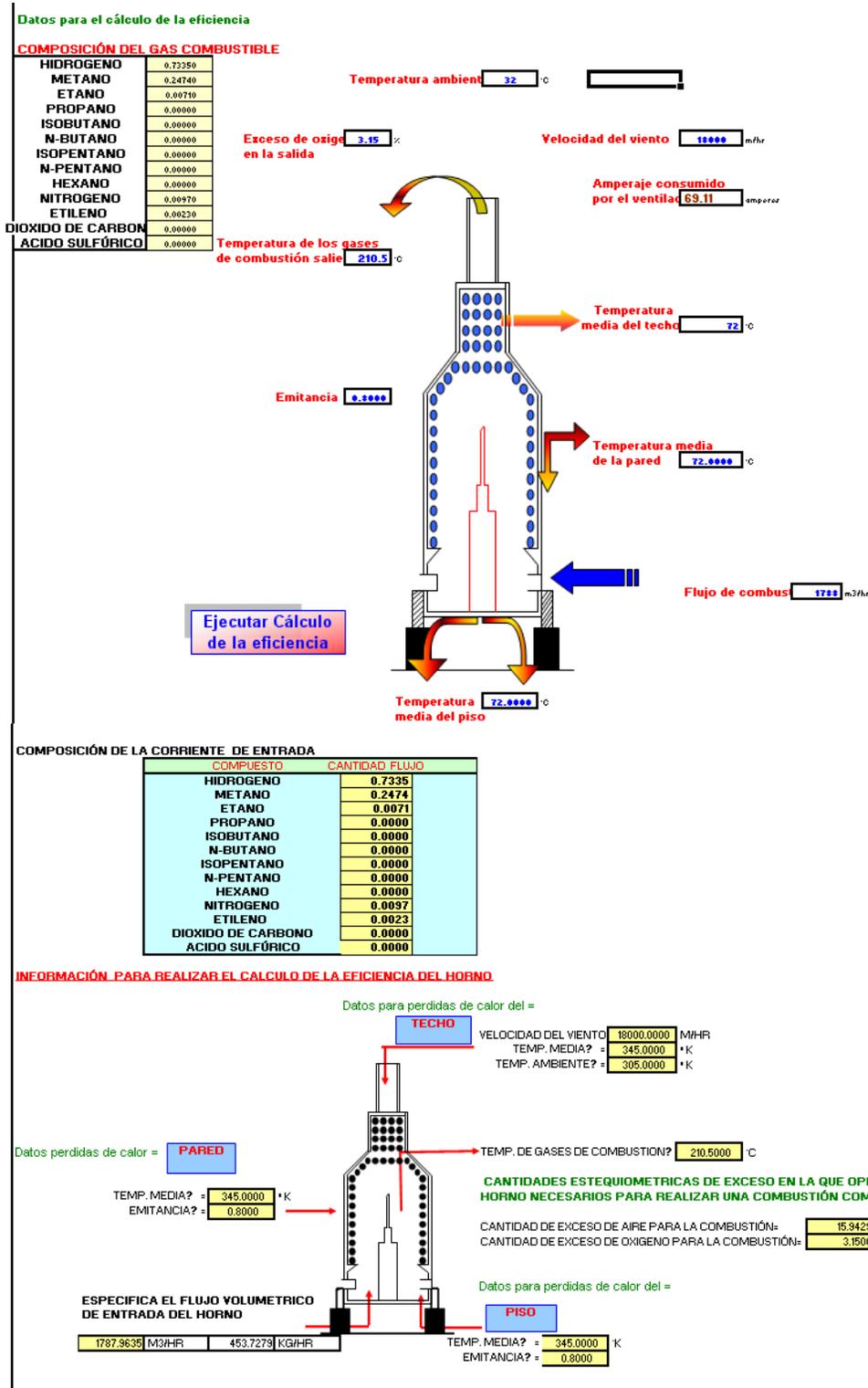
69.1157088 amperes

FLUJO sod	2313	KG/HR
DENSIDAD	0.1040	KG/M3
FLUJO	240.552	M3/HR
FLUJO	1787.963464	nm3/Hr

Emtancia	0.8	
Área superficial del techo	43.32	m²
Área superficial de la pared	432.56	m²
Área superficial del piso	42.35	m²

Eficiencia termica de diseño	87.5	%
-------------------------------------	-------------	----------

2.- Se visualiza las condiciones de operación del horno de pirólisis para rezalizar los cálculos.



3.- Se detallan los productos de la combustión para la obtención de la eficiencia térmica del horno de pirólisis.

CANTIDADES DE ENTRADA AL HORNO				
COMP.	FRAC. MOL	PCS _i (KCAL/M ³)	PCS _m	PM
H2	0.73350	2884.708	2,115.93	2.016
C1	0.24740	8988.293	2,223.70	16.041
C2	0.00710	15742.862	111.77	30.067
C3	0.00000	22399.538	0.00	44.092
iC4	0.00000	28945.863	0.00	58.118
nC4	0.00000	29029.517	0.00	58.118
iC5	0.00000	35597.2	0.00	72.144
nC5	0.00000	35677.394	0.00	72.144
C6+	0.00000	42325.071	0.00	86.169
N2	0.00970	0.0000	0.00	28.016
ETIL	0.00230	14231.761	32.73	28.051
CO ₂	0.00000	0.0000	0.00	44.010
H2S	0.00000	5668.854	0.00	34.076
SUMA	1.0000	PCS _T =	4,484.14	KCAL/M ³

FRACCION Y DATOS DE LA MEZCLA DE LOS COMPONENTES						
COMP.	FRCM*PM	FRACCION	PCI _i (BTU/LB)	PCI _m	densidad LB/PIE ³	DENSIDAD
H2	1.478736	0.24657815	51623	12729.104	0.0053	0.00388755
C1	3.9685434	0.66175173	21520	14240.897	0.0424	0.01048976
C2	0.2134757	0.03559692	20432	727.316	0.0803	0.00057013
C3	0	0	19944	0	0.1196	0
iC4	0	0	19629	0	0.1582	0
nC4	0	0	19680	0	0.1582	0
iC5	0	0	19478	0	0.1904	0
nC5	0	0	19517	0	0.1904	0
C6+	0	0	19403	0	0.2274	0
N2	0.2717552	0.04531498	0	0	0.0744	0.00072168
ETIL	0.0645173	0.01075821	20295	218.338	0.0746	0.00017158
CO ₂	0	0	0	0	0.117	0
H2S	0	0	6545	0	0.0911	0
PM mezcla	5.9970276	1	PCI _T =	27915.655	BTU/LB	0.0158407
			PCI _T =	15476.4391	KCAL/KG	0.25376801

Densidad de la mezcla
KG/M3

ACCESO DE DATOS DE COMBUSTIÓN						
CALCULO DEL AIRE TEORICO Y PRODUCTOS DE COMBUSTION COMPLETA						
KG/KG DE COMBUSTIBLE						
	REQUERIDO PARA LA COMBUSTION			PRODUCTOS DE COMBUSTION		
COMPUESTO	O ₂	N ₂	AIRE	CO ₂	H ₂ O	N ₂
H ₂	7.94	26.41	34.35	0	8.94	26.41
C ₁	3.99	13.28	17.27	2.74	2.25	13.28
C ₂	3.73	12.39	16.12	2.93	1.8	12.39
C ₃	3.63	12.07	15.7	2.99	1.63	12.07
iC ₄	3.58	11.91	15.49	3.03	1.55	11.91
nC ₄	3.58	11.91	15.49	3.03	1.55	11.91
iC ₅	3.55	11.81	15.35	3.05	1.5	11.81
nC ₅	3.55	11.81	15.35	3.05	1.5	11.81
C ₆₊	3.53	11.74	15.27	3.06	1.46	11.74
N ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ETILENO	3.42	11.39	14.81	3.14	1.29	11.39
CO ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

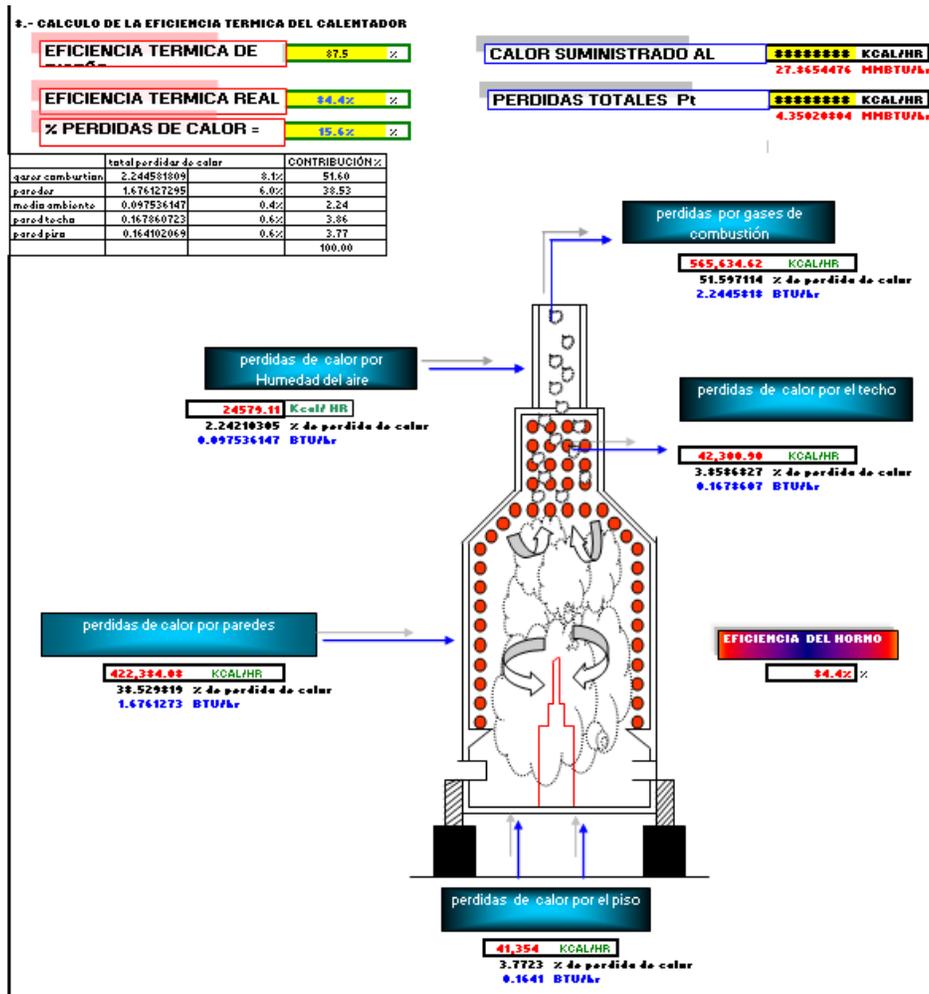
MOLES/MOL DE COMBUSTIBLE						
	REQUERIDO PARA LA COMBUSTION			PRODUCTOS DE COMBUSTION		
	O ₂	N ₂	AIRE	CO ₂	H ₂ O	N ₂
0.5	1.88	2.38	0	1	1.88	
2	7.53	9.53	1	2	7.53	
3.5	13.18	16.68	2	3	13.18	
5	18.82	23.82	3	4	18.82	
6.5	24.47	30.97	4	5	24.47	
6.5	24.47	30.97	4	5	24.47	
8	30.11	38.11	5	6	30.11	
8	30.11	38.11	5	6	30.11	
9.5	35.76	45.26	6	7	35.76	
0	0	0	0	0	0	
3	11.29	14.29	2	2	11.29	
0	0	0	0	0	0	

CAPITULO IV. EVALUACION TECNICA Y ECONÓMICA DE LOS HORNOS DE PIRÓLISIS DE LA PLANTA DE ETILENO DEL C.P. MORELOS.

COMPUESTO	AIRE TEORICO REQUERIDO		OXIGENO REQUERIDO	
	KG AIRE/KG COMB.	M ³ AIRE/M ³ COMB	KG DEO ₂ /KG COM	M3 O ₂ /M3 COM
H ₂	8.469959618	1.74573	1.95783055	0.36675
C ₁	11.42845241	2.357722	2.64038941	0.4948
C ₂	0.573822319	0.118428	0.1327765	0.02485
C ₃	0	0	0	0
iC ₄	0	0	0	0
nC ₄	0	0	0	0
iC ₅	0	0	0	0
nC ₅	0	0	0	0
C ₆₊	0	0	0	0
N ₂	0	0	0	0
ETILENO	0.159329134	0.032867	0.03679309	0.0069
CO ₂	0	0	0	0
SUMA	20.63156348	4.254747	4.76778955	0.8933

PRODUCTOS DE COMB. KG /KG COMB				PRODUCTOS DE COMB. MOLES /MOL DE COMB			
O ₂	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	CO ₂	H ₂ O	N ₂
	0	2.2044087	6.51212907		0	0.7335	1.37898
	1.81319975	1.4889414	8.788063		0.2474	0.4948	1.862922
	0.10429897	0.06407445	0.44104581		0.0142	0.0213	0.093578
	0	0	0		0	0	0
	0	0	0		0	0	0
	0	0	0		0	0	0
	0	0	0		0	0	0
	0	0	0		0	0	0
	0	0	0		0	0	0
	0.03378079	0.01387809	0.12253605		0.0046	0.0046	0.025967
	0	0	0		0	0	0
	1.9512795	3.77130265	15.8637739		0.2662	1.2542	3.361447
21.5863561				4.881847			

4.- Obtención de los resultados de la eficiencia térmica.



Nota: para los hornos no modificados se obtienen los resultados de igual manera aplicando la misma hoja de cálculo.

4.6 Cálculo de eficiencia térmica de los hornos de pirólisis con simulador de acuerdo a la metodología de la CONAE.

Se ingresan los datos de concentración del gas combustible utilizado, con las condiciones de operación obtenidas en bitácora en conjunto con las de diseño de igual manera las condiciones del sitio donde se realizó el estudio, al simulador de

CAPITULO IV. EVALUACION TECNICA Y ECONÓMICA DE LOS HORNOS DE PIRÓLISIS DE LA PLANTA DE ETILENO DEL C.P. MORELOS.

acuerdo de la metodología de la CONAE. Y se obtiene el resultado siguiente para el horno de pirolisis modificado BA-101.

RESULTADOS BALANCE DE ENERGIA	DISEÑO	DISEÑO	OPERACIÓN	OPERACIÓN
DESCRIPCIÓN	ENTALPIA (MM BTU/HR)	%	ENTALPIA (MM BTU/HR)	%
Calor absorbido por el fluido de proceso y generación de vapor.	114.93	87.50	126.09	84.71
Calor liberado por el combustible.	131.35	100.00	148.85	100.00
Pre calentamiento de aire y gas de combustión.	0	0.00	0.00	0.00
Pérdidas a través de paredes.	1.31	1.00	4.61	3.10
Gases de combustión a la salida de chimenea (incluye exceso de aire).	15.11	11.50	18.31	12.30

FECHA:		NOMBRE DEL EQUIPO:	
17-Ago-09		BA-101	
EFICIENCIA =	84.71	PLANTA:	
% EXCESO DE AIRE=	15.15	ETILENO	

ANTERIOR	SIGUIENTE
----------	-----------

Nota: para los hornos no modificados se obtienen los resultados de igual manera aplicando la misma metodología.

4.7 Obtención de gráficos y análisis de las evaluaciones.

A continuación se muestra el detalle del análisis económico de los resultados obtenidos de los cálculos de la eficiencia térmica apoyándose con la hoja de cálculo de Excel de acuerdo a la norma API-560, corroborando los resultados con el simulador de la norma CONAE.

CAPITULO IV. EVALUACION TECNICA Y ECONÓMICA DE LOS HORNOS DE PIRÓLISIS DE LA PLANTA DE ETILENO DEL C.P. MORELOS.

Detalle de los hornos modificados.

Estado físico de los hornos de pirólisis

Análisis económico hornos modificados

	Diseño	BA-101	BA-102	BA-109	BA-110
Flujo de Gas Kg/hr	2335.57	2313	2313	2313	2313
Temp prom de paredes C	60	72	70	67	100
Temp de chimenea C	200	210.5	204.3	199.7	229.4
Eficiencia	87.2	84.4	84.42	86.34	87.22
Energía total MMBTU/HR diseño	131.35	130.91	130.91	131.69	131.38
Perdida de calor en Chimenea	2%	8.6	8.6	8	9.6
Perdida de calor en gases de combustión	2%	1.7	1.7	1.1	1.1
Otras perdidas	1%	1	1	0.7	0.8
Suma de perdidas	5% max	11.3	11.3	9.8	11.5
Impacto económico	USD/Hr	130	130	114	133
Impacto económico	USD/año	47,515	47,515	41,453	48,529

Detalle de los hornos no modificados.

Estado físico de los hornos de pirólisis

Análisis económico hornos no modificados

	Diseño	BA-103	BA-104	BA-105	BA-106	BA-107	BA-108
Flujo de Gas Kg/hr	1717.35	1605	1605	1605	1605	1605	1605
Temp prom de paredes C	60	88	80	78.2	89	95	81
Temp de chimenea C	260	355.7	353.8	312.0	290.0	309.8	346.4
Eficiencia	87.5	79.1	79.8	82.4	82.0	79.2	80.2
Energía total MMBTU/HR diseño	90.8	87.7	87.7	87.7	87.7	87.7	87.7
Perdida de calor en Chimenea	3%	16.5	16.4	14.1	12.9	15.6	15.9
Perdida de calor en gases de combustión	0%	3	2.5	2.4	3.8	3.5	2.6
Otras perdidas	0%	1.4	1.3	1.1	1.4	1.4	1.4
Suma de perdidas	3% max	20.9	20.2	17.6	18.1	20.5	19.9
Impacto económico	USD/Hr	161	156	136	140	158	154
Impacto económico	USD/año	58,903	56,93	49,602	51,011	57,775	56,085

CAPITULO V

Capitulo V. Resultados.

5.1 Comprobación de hipótesis

Para llevar acabo esta comprobación de la hipótesis, se realizó el estudio térmico anterior, a los 10 hornos de pirólisis de la planta de etileno del C.P. Morelos, tomando en cuenta diversos factores tales son, el medio ambiente, datos de campo, software para los cálculos, etc.

Hic: El aumento de la eficiencia térmica (VD) está influida en forma directa en la disminución del índice energético de los hornos de pirólisis (VI). Esta hipótesis se acepta.

Al incrementar la eficiencia térmica cercana al diseño apoyándonos de las recomendaciones derivadas de esta evaluación podremos lograr una disminución considerable en el consumo de gas combustible en los hornos de pirólisis.

5.2 Respuestas a las preguntas de investigación.

1.- ¿En qué medida disminuirá el índice energético de los hornos de pirólisis, después de haber estudiado y evaluado la eficiencia térmica?

El índice energético disminuirá en los hornos de pirólisis cercana al diseño ya que al evaluar la eficiencia térmica nos da margen a detectar y corregir las anomalías detectadas y así con eso incrementar la eficiencia térmica de los hornos de pirólisis.

2.- ¿En qué medida se elevará la eficiencia térmica en los hornos de pirólisis después de haber establecido y realizado las recomendaciones técnicas?

Al haber establecido y realizado las recomendaciones técnicas. Como se estableció en la pregunta anterior, la eficiencia térmica se elevará cercana al diseño 87.5 % en hornos modificados y 87.2 % en hornos no modificados, queda claro que no se aseguró obtener estos valores pero si incrementar del valor de operación real al cercano al diseño.

5.3 Objetivos cumplidos.

Se realizo la recopilación de datos referente a las hornos de pirólisis y sus accesorios (hojas de especificación, bases de diseño, bitácoras de operación y características del combustible) para determinar los valores que se ingresarían a la hoja de cálculo Excel y al simulador establecido por la CONAE.

Se evaluó la eficiencia térmica y se identificaron las áreas de oportunidad para mejorar la operación de hornos de pirolisis de la planta de etileno del C.P. Morelos, partiendo de datos de diseño y operación y con apoyo de la metodología (simulador) CONAE y hoja de cálculo de Excel.

Para el logro eficiente del objetivo general se tuvieron que llevar a cabo los objetivos particulares.

Se realizó una recopilación de información de diseño y operacional a partir de un monitoreo general en campo, bitácoras, memorias descriptivas de ingeniería básica, diagramas de tuberías e instrumentación del fabricante, diagramas de flujo etc.

Se calculó la eficiencia térmica individual de los hornos con hoja de cálculo de Excel apoyándose con la norma API-560 y se visualizó el impacto en la capacidad de producción.

Se determinó la Pérdida de eficiencia térmica, con respecto a la operación de los componentes físicos del hornos (Radiación, Convección, refractario, quemadores), por su mal estado.

Se definieron las medidas conducentes a obtener un ahorro energético en los hornos de pirólisis mediante el análisis del índice energético.

Se calculó la eficiencia térmica de los hornos de pirólisis aplicando metodología (simulador) de la norma CONAE partiendo de la identificación de las partes a estudiar y evaluar.

Se establecieron recomendaciones técnicas y económicamente viables que permitan incrementar su eficiencia térmica de operación en los hornos de pirólisis después de haber establecido el estudio energético en mención.

CAPITULO VI

Capitulo VI. Conclusión y recomendación.

6.1 Conclusión

Podemos concluir que se cumplieron los objetivos planteados al inicio de la presente tesis los cuales de acuerdo a las diversas herramientas como la hoja de cálculo de Excel y el simulador de la metodología de la norma CONAE. Se logro así determinar recomendaciones técnicas y económicamente viables que permitan incrementar su eficiencia térmica de operación en los hornos de pirólisis.

La presión negativa creada en el hogar produce la corriente de aire que entra en los quemadores trayendo consigo, en caso que no estén bien regulados, un exceso de aire que se calienta desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de salida del horno; lo cual aumenta el consumo de gas combustible. El aire necesario para la combustión es igual a la suma del aire estequiométrico de la combustión más una cantidad extra, la cual permite que todo el gas combustible sea quemado. Por otro lado, la presión negativa creada en el hogar por el tiro natural ó el tiro inducido, fuerza al aire del medio ambiente hacia el interior del horno por las grietas, y mirillas. Un buen diseño de horno se desarrolla para evitar infiltraciones de aire ó fugas de gases del horno al medio ambiente. Sin embargo, debido al uso natural del horno se generan grietas, y los sellos de las mirillas empiezan a fallar.

Estas aperturas parecen pequeñas respecto a las dimensiones del horno, por lo que generalmente son ignoradas. Debido a las infiltraciones y que el control quemador-damper no están correctamente regulados, existe un exceso de aire dentro del hogar del horno, este exceso es mayor que el optimo recomendado, por lo que presenta como consecuencia, un aumento en el consumo de gas combustible.

6.2 Recomendaciones

La medición continua de parámetros como el del oxígeno en gases de combustión así como la implementación de la hoja de cálculo de Excel nos darán en tiempo real los parámetros y ayudaran a la mejor operación de los hornos de pirólisis de la planta de etileno del C.P. Morelos.

Se recomienda analizar la posibilidad de redistribuir la carga térmica en los hornos, con la finalidad de obtener una conversión óptima (y lo más homogénea posible) de etano a todo lo largo del serpentín de pirólisis; lo anterior implica que la carga se aumente en las primeras zonas del tubo y se disminuya en la parte final del propio tubo. La modificación de la carga térmica dentro del horno de pirólisis es un procedimiento complejo, más que solamente apagar quemadores o aumentar el número de los mismos en cierta zona, debido a que el horno no está dividido físicamente en su interior y la temperatura del hogar fluye constantemente dentro del mismo, además de que el “efecto chimenea”, provoca un flujo de gases calientes hacia fuera del horno.

Aplicación de cubiertas de alta emisividad en refractarios de los hornos, lo anterior, reduce las temperaturas de superficie del vehiculo mediante la re-radiación de la energía, previniendo la degradación del escudo térmico.

Aplicación de fibra cerámica en los hornos y conductos. Los módulos de cerámica están fabricados para resistir temperaturas de 1260°C a 1430°C), son fabricados con mantas de alta calidad de fibra centrifugada, plegadas y precomprimidas a una densidad específica, y se mantienen en posición por medio de tubos de acero inoxidable montados transversalmente dentro del modulo. Durante la instalación, los módulos se comprimen aun más, la elasticidad de la manta y su expansión después de quitar los flejes de retención aseguran juntas más cerradas.

BIBLIOGRAFIA.

1. Norma de PEMEX NRF-089-PEMEX-2004.
2. Norma ANSI/API-560 STANDARD.
3. CONAE NOM-002-ENER-1995 México, D.F. 2006.
4. Consejo Mundial de la Energía (1998), "Latinoamérica y el Caribe: Perspectivas Energéticas hacia el siglo XXI'.
5. Comisión de Energéticos (1976). Pronósticos demanda de Energía (Modelos Conjuntos), Comisión de Energéticos, México.
6. Díaz-Bautista, Alejandro (2000), "Convergence, human capital and economic growth". En Cuadernos de Trabajo del Departamento de Estudios Económicos del Colegio de la Frontera Norte, número 7, enero del 2000.
7. Palacios Blanco, José Luis y Quintanilla Martínez, Juan. (1992) Introducción al Costo Marginal de Producción en Sistemas Eléctricos. Consideraciones sobre Planeación, Optimización y Tarificación. UNAM, Primera Edición.
8. Amador Julio Ing, Bueno Fernando Lic., Hernández Alejandro Ing. Etal Auto generación y cogeneración de energía Edit. IIR México, D.F. Año 1993
9. ASME Steam generating Test codes 4.1
10. Bradianski Método exergéticos y sus aplicaciones Edit Energía (1988) 280 Págs.
11. Bejan Adrián Models of power plants that generate minimum entropy while operating at maximum power Department of mechanicals engineering and materials science, duke university, Durham
12. Bueno Montalvo Fernando NOM- 012 – ENER - 1995 año 1995, México, D. F.
13. CONAE Fichas técnicas de procesos químicos México, D.F. 2006
14. CONAE Normas nacionales, México, D.F. 2006
15. Kirk Raymond E, Scott. Janeth, Othmer, Donald et as Enciclopedia de la Tecnología Química. Edit. Uteha, tomo III, 1972 México, D. F., Págs. 427-448
16. Tsatsaronis George Design optimization of thermal systems using exergy based techniques Edit Circus, Berlin, Alemania Pag 183 – 184

Software's

- Excel/Word