



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**BASES PARA LA ELABORACIÓN DE DIAGNÓSTICOS
ENERGÉTICOS EN INSTALACIONES PETROLERAS**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO
PRESENTA**

César García Mata



Ciudad Universitaria, CDMX., 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor : MARTÍN RIVERA TOLEDO

VOCAL: Profesor : ALFONSO DURÁN MORENO

SECRETARIO: Profesor : LETICIA VALLE ARIZMENDI

1er SUPLENTE: Profesor : CARLOS ALVAREZ MACIEL

2do SUPLENTE: Profesor : JOSÉ AGUSTÍN GARCÍA REYNOSO

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: UNIDAD DE PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN EN
INGENIERÍA AMBIENTAL (UPIIA),
labs. 301 a 301E, Facultad de
Química, UNAM.**

ASESOR DEL TEMA:

DR. ALFONSO DURÁN MORENO

SUSTENTANTE:

CÉSAR GARCÍA MATA

Agradecimientos

Primero quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad y la fuerza para llegar hasta este momento de mi vida porque si bien ha sido un camino difícil y con obstáculos si en el nada hubiera sido posible.

Quiero agradecer a mis papás Nora Mata Figueroa y César García Rangel por todo el apoyo que me han brindado toda la vida, un sincero gracias por todo lo que sacrificaron y dieron de más para que yo pudiera seguir adelante, porque siempre han estado conmigo en los buenos y malos momentos, porque de ellos aprendí a dar el máximo en todo lo que hago y no rendirme por más difícil que resulte la prueba y por ser la fuerza que me impulsa a seguir adelante.

A mi hermana Elizabeth García Mata por siempre ser un pilar y ser una gran inspiración en mi vida.

Le agradezco al Dr. Alfonso Durán por permitirme formar parte del equipo de la UPIIA y brindarme consejos y tiempo para el desarrollo del proyecto.

Gracias a mis sinodales Martín Rivera Toledo y Leticia Valle por sus consejos y observaciones.

A Susana Peralta por brindarme tan grande ayuda en el desarrollo de este proyecto.

A todos mis amigos del grupo de Juevebes, Alma Delia Mendoza, Karla Villanueva, Alexis Mercadal, Julián Barquera, Alejandro Corona y Mariana Vargas por el apoyo incondicional, compartir inolvidables momentos y siempre tener grandes consejos.

A mis amigos Humberto Alcántara, Citlali Bustos, Daniela Rangel, Alejandro Paniagua, Daniel Frutos y Karen Brito por hacerme reír siempre, ayudarme en proyectos y sobre todo ser muy buenos amigos ante cualquier situación.

A mis amigos de la prepa Iliana Ordoñez, Erik Mondragón, Ariadna Ibañez y Dirce Moreno, porque desde hace más de 8 años siempre han sabido ser amigos de verdad y estar en los buenos y malos momentos.

A toda mi familia (materna y paterna) son demasiados pero desde que tengo memoria siempre me han brindado comprensión, cariño y apoyo en todo lo que he hecho.

Por último a la UNAM y a la Facultad de Química donde aprendí muchísimo, conocí gente muy interesante que me enseñó demasiado y donde tuve la oportunidad de estudiar esta increíble carrera.

“La victoria pertenece al más perseverante”

Napoleón Bonaparte

Índice de contenido

1. Introducción	6
1.1 Justificación	10
1.2 Objetivo general.....	12
1.3 Objetivos particulares.....	12
1.4 Alcance	12
2. Fundamentos de los diagnósticos energéticos	13
2.1 Aspectos Legales.....	13
2.2 La reforma energética y su impacto en refinación.....	13
2.2.1 PEMEX Transformación Industrial en la Estrategia Nacional de Energía	15
2.2.2 PEMEX Transformación Industrial en el Balance Nacional de Energía.	18
2.3 Conceptos Base.....	21
2.3.3 Energía	21
2.3.4 Calor.....	22
2.3.6 Eficiencia termodinámica.....	23
2.3.7 Intensidad energética.....	23
2.3.8 Indicadores de sustentabilidad en la industria de proceso.....	24
2.4 Gestión de la energía en la industria de la refinación	26
2.4.1 Gestión de la energía de acuerdo a la norma ISO 50001, sistemas de	
Gestión de la Energía.....	27
2.4.2 Diagnósticos energéticos	30
p2.4.3 Herramientas de gestión complementarias	32
2.4.4 Sistemas de gestión de la energía en la industria de la refinación	40
2.4.5 Organismos nacionales e internacionales de gestión de la energía.....	42
2.4.6 Casos de éxito en la industria	50
3 Caso de Estudio: Procesos en la industria de la refinación	58
3.2 Destilación combinada	60
3.3 Hidrodesulfuración (HDS).....	63
3.4 FCC (Fluid Catalytic Cracking)	65
3.5 Reformación catalítica	67
3.6 Alquilación	69
3.7 Isomerización	71
3.8 Hidrógeno.....	73

4	Propuesta de un procedimiento para la realización de diagnósticos energéticos en instalaciones de proceso de una refinería.	83
4.2	Etapas para la implementación de un diagnóstico energético	83
4.2.1	Planeación	83
4.2.2	Prediagnóstico	85
4.2.3	Recopilación de datos	90
4.2.4	Propuesta de mejora	92
4.2.5	Informe final	94
4.2.6	Índices energéticos en la industria de la refinación	99
4.2.7	Establecimiento de un plan de ahorro y uso eficiente de energía	106
5	Conclusiones	108
6	Referencias	109

1. Introducción

La industria petrolera en el mundo representa una de las mayores fuentes de producción de energía primaria a nivel mundial que en 2013 alcanzó el 40.4 % del consumo mundial. En México en 2016 la producción de energía primaria por parte de hidrocarburos fue 86.79% del total de producción de energía (SENER, 2017), este energético representa uno de los pilares principales de la economía nacional debido a las exportaciones de crudo. Los centros de transformación donde se obtienen los productos alto valor agregado que requirieron de un mayor porcentaje de energía primaria fueron las refinerías con un 45.10 % del total (SENER, 2017).

Dentro de las principales fuentes de energía consumidas por los centros de transformación se encuentran el gas combustible, diésel, combustóleo y energía eléctrica, así mismo una gran parte de estas fuentes se utiliza para la producción de vapor y energía eléctrica (PEMEX , 2016).

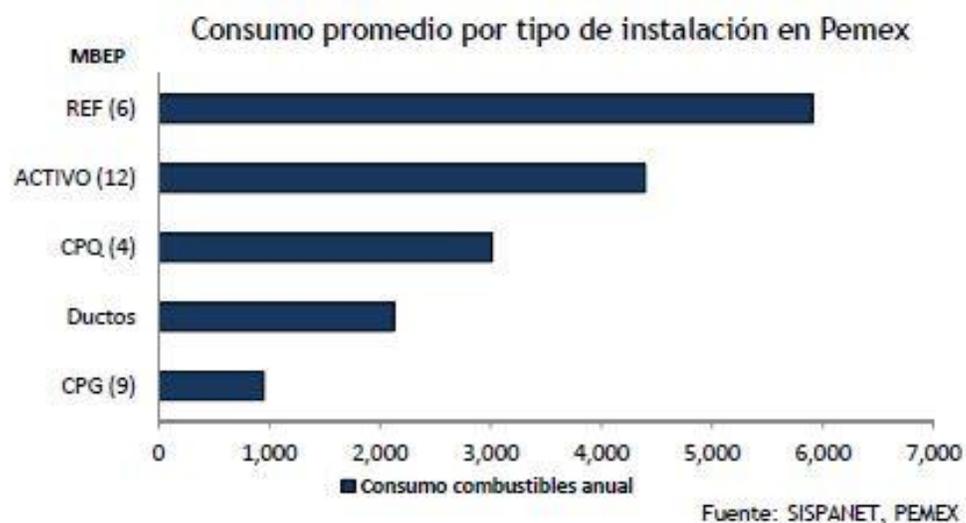


Figura 1. Consumo de combustibles anuales por tipo de instalación en 2016. Fuente: Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía en PEMEX (2016).

Las abreviaturas de la figura 1 hacen referencia a REF (Refinería), CPQ (Complejo Petroquímico), CPG (Complejo Procesador de Gas)

Aquí gráficamente se puede ver como el mayor consumidor de combustibles anuales es el sector de refinación lo que da la relación completa de porque es el mayor consumidor de energía dentro de PEMEX

La refinación como proceso de transformación es de gran importancia en el ámbito económico nacional ya que es la encargada de producir, distribuir y comercializar combustibles; el SNR (Sistema Nacional de Refinación) está integrado por 6 refinerías cuya capacidad de procesamiento de crudo ha venido disminuyendo en los últimos 10 años, para el 2016 la capacidad de procesamiento de crudo fue 933 Mbd (PEMEX, 2017).

El SNR (Sistema Nacional de Refinación) presenta distintos retos y problemáticas relacionadas con la creciente demanda de sus productos y la falta de un programa adecuado para la reconfiguración y adquisición de nueva tecnología que aumente su producción y eficiencia energética en todas sus plantas de proceso, así como un inadecuado desempeño por parte del personal técnico y operativo de las instalaciones.

El desempeño energético de una refinería es uno de los parámetros principales para conocer su situación operativa y económica; desde finales de los años 90 PEMEX ha venido realizando un proceso de reconfiguración de las 6 refinerías con el fin de mejorar en sus índices de desempeño y aumentar la producción de combustibles, para intentar estar en un nivel más competitivo con otras empresas petroleras de la región como Shell, Chevron, PBF Energy, Exxon Mobil y Motiva Enterprises (Journal, 2015); en este contexto dichas empresas ya han implementado en sus refinerías programas muy completos de gestión de la energía que comienzan desde la utilización de diagnósticos energéticos en sus plantas, el posterior análisis de datos, obtención de recomendaciones y la posterior implementación y ejecución de estas que conduce a la adquisición de nuevas tecnologías y una mejora continua en la

capacitación y desempeño de su personal técnico lo que las perfila en un ranking de las mejores y más grandes refinerías a nivel mundial.

PEMEX como empresa está consciente de la alta demanda energética que conlleva el desarrollo de sus actividades industriales y comerciales estableció en el 2015 “La Política de Gestión de la Energía” mediante todos los directores de las subsidiarias deben actuar en coordinación con la Gerencia de Protección Ambiental, Gestión Energética y Sustentabilidad, Salud en el Trabajo y Protección y Coordinación y Desempeño, este esquema como se revisará más adelante sigue los lineamientos de la norma ISO 50001. De acuerdo a esta política de gestión PEMEX asume los siguientes compromisos:

- Estandarizar procedimientos y procesos.
- Obtener productos optimizando el uso y consumo de la energía en su elaboración.
- Promover la cultura de ahorro energético.
- Cumplir con los requerimientos legales.
- Establecer, cumplir y medir objetivos y metas energéticas.
- Identificar, priorizar y seleccionar las acciones e incorporación de nuevas tecnologías para la mejora del desempeño energético.
- Asegurar que la política sea comunicada e implantada.

Teniendo una base de querer implementar un programa de gestión de la energía en el siguiente capítulo se abordarán tanto los fundamentos legales como técnicos de los diagnósticos energéticos. En el capítulo 3 se explican los casos de estudio en plantas de proceso de una refinería y por último se explica la propuesta de implementación y desarrollo de un diagnóstico energético.

A modo de aclaración en los fragmentos donde se citan textualmente partes de otros textos la referencia se coloca inmediatamente después del párrafo entre paréntesis de acuerdo al estilo APA de citas.

1.1 Justificación

PEMEX Transformación Industrial actualmente afronta distintos problemas especialmente operativos, relacionados con la baja eficiencia y producción de sus procesos, altos consumos energéticos, la falta de un adecuado programa para la reconfiguración y cambio de tecnologías en las refinerías, paros no programados continuos así como brechas de conocimiento y capacitación en su personal técnico y de operación de las plantas.

Uno de los aspectos más importantes para medir el desempeño de una instalación de refinación de hidrocarburos es su intensidad energética y para ello, la empresa Solomon Associates desarrolló un estudio en el cual se analizan y miden distintos aspectos para operar una refinería (energía, personal, unidades de proceso, mantenimiento) con lo cual se obtienen estándares para diferentes esquemas de refinación y con esto se puede obtener un perfil del desempeño de la refinería y sus oportunidades de mejora. De acuerdo a este índice las refinerías que se encuentran por debajo de 100 tienen un desempeño mejor al estándar mientras que las que se encuentran por encima de 100 tienen un desempeño peor que el estándar (Canadian Petroleum Products Institute, 2016)

De acuerdo a la edición 2014 de este reporte el EII (Índice de Intensidad Energética) para el SNR (Sistema Nacional de Refinación) de PEMEX fue de 140% (Refinación, 2015) mientras que este índice para refinerías de Royal Dutch Shell en la misma zona geográfica y con las mismas unidades de

proceso fue 95.4 (Royal Dutch Shell, 2017) y el de refinerías de ExxonMobil fue de 90.7 (ExxonMobil, 2017).

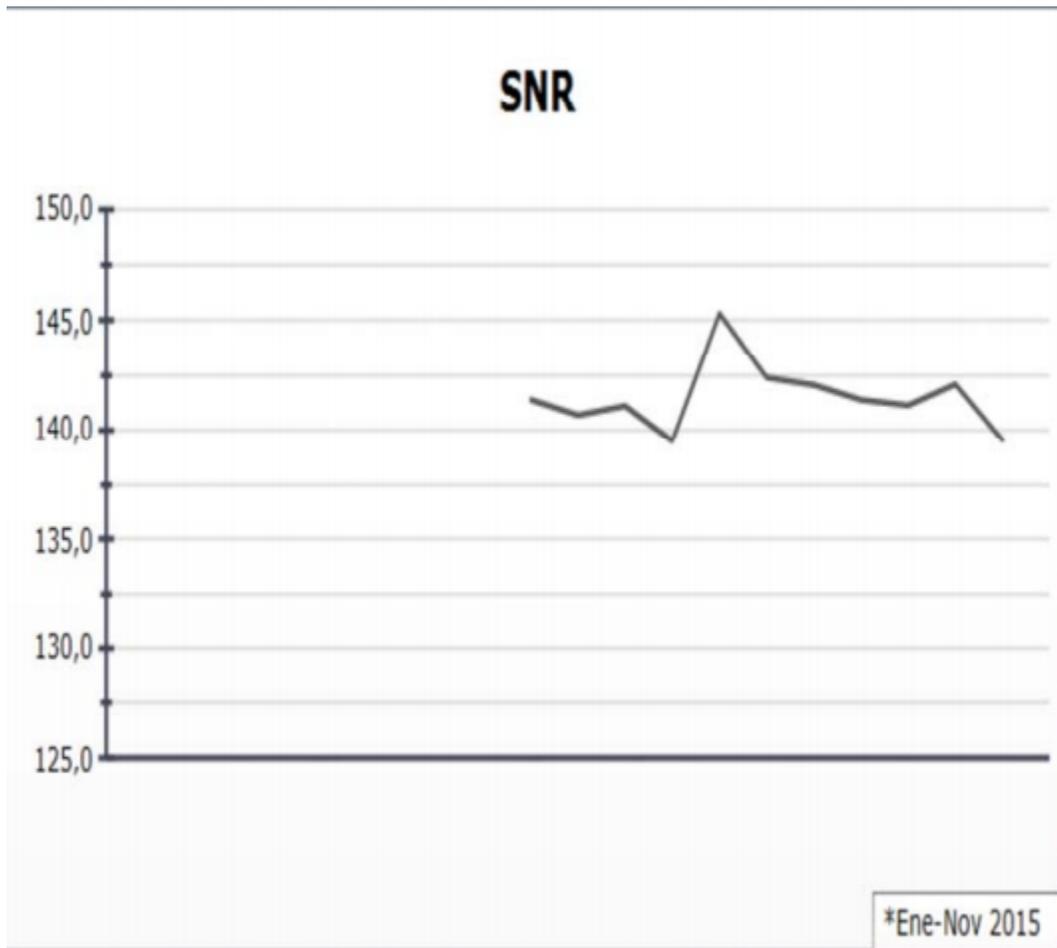


Figura 2. Índice de Intensidad Energética del SNR en el periodo de Ene-Nov de 2015. Fuente PEMEX Transformación Industrial

Para que una refinería sea eficiente de acuerdo a este índice debe tener un índice menor de 90 – 94 % y como se puede ver el SNR está muy lejos de este objetivo ya que se encuentra en valores superiores de 140.

Es por esta razón la importancia de desarrollar bases sólidas para una implementación en las 6 refinerías del país de un sistema de gestión de la energía completo que cumpla con la política de gestión de la energía de PEMEX y de esta manera se consigan ahorros económicos significativos para y un cambio de cultura laboral en la empresa.

1.2 Objetivo general

Elaborar una guía de conceptos y herramientas básicas para la implementación de diagnósticos energéticos en instalaciones de proceso de una refinería, esto con el fin de optimizar recursos energéticos, reducir costos y poder llegar a establecer un programa de uso eficiente de la energía en PEMEX mediante la propuesta de procedimientos para llevar a cabo una auditoría energética, desarrollo de formatos y criterios técnicos de ingeniería.

1.3 Objetivos particulares

- Recopilar información de las plantas con mayor consumo de energía en una refinería mediante un análisis de un balance de energía global y de esta manera reconocer las áreas de oportunidad.
- Identificar las herramientas básicas para la realización de un diagnóstico energético mediante el uso de criterios técnicos, legales y ambientales.
- Proponer el correcto uso del diagnóstico energético, así como un procedimiento para detectar y reducir bajas eficiencias energéticas en las áreas de proceso de una refinería siguiendo las etapas del ciclo de mejora continua establecido por la norma ISO 50001 para proyectos de ahorro y uso eficiente de la energía.

1.4 Alcance

Desarrollar los pasos que conforman una metodología general para la realización de diagnósticos energéticos en plantas de proceso de una refinería que incluya desde la identificación de las áreas de oportunidad por planta hasta la emisión de recomendaciones y posterior implementación de estas en

un programa de ahorro y uso eficiente de la energía (Sistema de Gestión de Energía).

2. Fundamentos de los diagnósticos energéticos

2.1 Aspectos Legales

En este capítulo se presenta el marco normativo más actual de la industria de refinación nacional y su desempeño en producción, ya que en este ámbito legal es donde PEMEX Transformación Industrial ha afrontado la problemática que se mencionó anteriormente, concretamente se abordará la reforma energética, la legislación previa a ésta y su impacto en el SNR, así como su desempeño y proyecciones de acuerdo al balance nacional de energía y la Estrategia Nacional de Energía (ENE) respectivamente.

2.2 La reforma energética y su impacto en refinación

La reforma energética es un conjunto de disposiciones promulgadas en diciembre de 2013 que se agregaron y modificaron a los artículos 25, 27 y 28 constitucionales, éstas reformas establecen entre sus puntos principales que:

- a) Los hidrocarburos en cualquier estado (líquido, sólido o gas) son propiedad de México (Presidencia de la República, 2013).
- b) PEMEX y CFE son ahora empresas productivas del estado (Presidencia de la República, 2013).
- c) Las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos son exclusivas del estado pudiendo tener inversión privada para las mismas únicamente mediante contratos establecidos por el estado (Presidencia de la República, 2013).
- d) Se establecen la Comisión Nacional de Hidrocarburos y la Comisión Reguladora de Energía como organismos rectores para la administración de

contratos y proyectos en hidrocarburos y electricidad (Presidencia de la República, 2013).

Dentro de las disposiciones contenidas se estableció un cambio dentro de PEMEX y sus organismos subsidiarios (Exploración y Producción, Gas y Petroquímica Básica, Refinación y Petroquímica) creándose las siguientes subsidiarias:

- Exploración y Producción
- Transformación industrial (fusión de Refinación, Gas y Petroquímica Básica y Petroquímica)
- Perforación
- Logística
- Fertilizantes
- Etileno

Con respecto a la subsidiaria de refinación ahora llamada Transformación Industrial esta reforma abarca los siguientes temas.

Tabla 1. Puntos relevantes en materia de refinación en la reforma energética y la legislación previa a esta (Presidencia de la República, 2014)

Legislación previa	Reforma Energética
<ul style="list-style-type: none"> • Las restricciones técnicas y financieras en PEMEX hacen que la refinación sea ineficiente y poco rentable • Un marco jurídico que no permitía asociaciones entre PEMEX y empresas privadas en el país, pudiéndose dar estos casos sólo en el extranjero tal es el caso de la refinería de Deer Park en Houston, Texas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Como reforma al artículo 28 se establece que solo las actividades de exploración y extracción son exclusivas del estado. • En el área de transformación PEMEX podrá asociarse para modernizar su infraestructura y aumentar su producción. • Se promueve la inversión privada para crear nuevas zonas de transformación de

Legislación previa	Reforma Energética
<ul style="list-style-type: none"> • Las actividades de exploración, extracción, refinación y petroquímica son exclusivas del estado. • Se deben tomar medidas para evitar que las actividades en el sector de hidrocarburos deterioren el medio ambiente por medio de una legislación efectiva y universal en el sector. 	<p>hidrocarburos, esto regulado con el respectivo permiso otorgado por la SENER y el contrato otorgado por el estado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se eleva a rango constitucional la sustentabilidad en las empresas públicas y privadas; con esto se generará una nueva legislación en el sector y las nuevas leyes van a poder definir el papel de las empresas en temas como la eficiencia en el uso de la energía, disminución de gases de efecto invernadero y generación de residuos en sus procesos.

2.2.1 PEMEX Transformación Industrial en la Estrategia Nacional de Energía

La Estrategia Nacional de Energía (ENE) es un documento que expone las problemáticas de orden estratégico sobre las que se deben establecer políticas públicas que mejoren el funcionamiento del sector energético nacional y de esta manera se pueda tener un sector más ágil, que anticipe sus acciones en la oferta y demanda de sus productos, así como su calidad de producción (Secretaría de Energía, 2012), este documento se apoya en tres ejes principales que son:

- La demanda de energéticos tanto en la necesaria para el crecimiento de la economía así como la atendida.
- Promocionar la eficiencia energética tanto en el consumo como en los procesos de producción de energía por medio de mejores prácticas y tecnologías derivadas de políticas públicas.
- Enfrentar los retos ambientales del uso y generación de energía.

El sector energético de nuestro país representa el 8% del PIB nacional.

De acuerdo a la Estrategia Nacional de Energía 2014 – 2028 la eficiencia energética se tiene identificada como: “La alternativa o mecanismo de transición energética con un mayor potencial de costo – beneficio para llevar acabo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero”, algunos de estos beneficios son:

- Reducción de costos de producción, transporte y distribución de hidrocarburos
- Reducción de costos de operación de las empresas
- Reducción de recursos no renovables como los hidrocarburos
- Minimización en la generación de residuos y desechos industriales

Para la aplicación de mejores prácticas en eficiencia energética se requiere de una combinación entre políticas públicas, regulaciones de estándares, desarrollo tecnológico y un cambio en la cultura de ahorro de energía basado en una formación, capacitación y toma de conciencia. (Secretaría de Energía, 2013).

El objetivo de esta sección es mostrar los puntos de mayor importancia tanto en la edición 2013 y 2014 de la ENE en lo concerniente a refinación, lo cual se muestra en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Puntos importantes respecto a la refinación en la ENE 2013.
Fuente (Secretaría de Energía, 2012)

Estrategia Nacional de Energía 2013 -2027
<ul style="list-style-type: none">• Tres elementos de integración para el desarrollo del sector energético (Eficiencia, Seguridad y Sustentabilidad).• Promover el uso eficiente de energía en todos los sectores.• Eliminar brechas para mejorar indicadores de desempeño operativo.• Incrementar la eficiencia energética en las refinerías por medio de la reducción de brechas de desempeño respecto a referencias internacionales.• Identificar, promover y aprovechar las áreas en las que pueda participar el sector social y privado.• Aumento de la capacidad de refinación• Renovar la infraestructura productiva existente en el SNR por tecnologías nuevas y eficientes.• Priorizar la aplicación de los recursos en función de mayor rentabilidad y si es permitido por la ley aprovechar mecanismos de financiamiento por terceros.

Para la edición 2014 de la ENE, se va a poder apreciar la clara influencia de la reforma energética y la adición de varios puntos sobre todo para participación de particulares en las actividades de transformación.

Tabla 3. Puntos importantes respecto a la refinación en la ENE 2014. Fuente
(Secretaría de Energía, 2013)

Estrategia Nacional de Energía 2014 - 2028
<ul style="list-style-type: none"> • Se mantienen los tres elementos de integración para el desarrollo del sector energético viéndose fortalecidos por la reforma. • Se aplica un nuevo modelo energético para fortalecer la capacidad de producción y transformación tanto electricidad como hidrocarburos. • Se da impulso al desarrollo de nuevas empresas dedicadas a la mejora de la eficiencia energética; renovación de procesos y uso de nueva tecnología en el área de transformación (petroquímica y refinación). • Se permite la inversión privada y competencia en la industria de la refinación. • Se fortalece el aumento de capacidad de refinación mediante reconfiguraciones o nuevas refinerías. • El fondo sectorial CONACyT – SENER – Hidrocarburos destina gran cantidad de recursos para proyectos de desarrollo de tecnología, recursos humanos y sustentabilidad energética en el área de refinación.

2.2.2 PEMEX Transformación Industrial en el Balance Nacional de Energía

El Balance Nacional de Energía es un documento que muestra el desempeño del sector energético durante un año; así mismo permite realizar un análisis comparativo con lo observado en años previos (Secretaría de Energía, 2016), por ejemplo:

- El índice de intensidad energética en el 2015 fue 3.9% menor que en el 2014 siendo esto resultado de un decremento del consumo de energía de 1.4% mientras que el PIB tuvo un crecimiento de 2.5%
- El 87.2% de la producción de energía primaria fue aportada por los hidrocarburos lo cual representó un 7.4% menos que en el 2014.

La metodología seguida para obtención de estos datos utiliza la información relativa a la oferta y demanda de energía para una zona geográfica específica, tanto a nivel nacional como regional y está asociada a un periodo de tiempo

determinado. Se basa en un conjunto de relaciones que contabilizan la energía que se produce, la que se intercambia con el exterior, la que se transforma, la de consumo propio, la no aprovechada y la que se destinada a distintos sectores y agentes económicos (Secretaría de Energía , 2016). En el presente trabajo sólo se abordará la parte relacionada con la transformación de hidrocarburos, esto es la refinación.

Dentro del Balance Nacional de Energía se presentan dos tipos de energía:

- La primaria que hace referencia a aquellos energéticos que se extraen directamente o se obtienen de los recursos naturales como lo son petróleo, carbón mineral, gas natural, energía solar y eólica por mencionar algunas.
- La secundaria que agrupa a todos los derivados de las fuentes primarias que son obtenidos después de los respectivos procesos de transformación.

Se presenta una tabla de la capacidad de refinación de distintas plantas del SNR del año 2005 al 2015.

Tabla 4. Capacidad de refinación (Mbd) del SNR (2005 -2015). Fuente (Secretaría de Energía , 2016)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Capacidad nominal Destilación Atmosférica	1540	1540	1540	1540	1540	1540	1690	1690	1690	1602	1640
Capacidad nominal Destilación al vacío	768.4	754	754	754	754	754	832	832	832	767.5	772.5
Capacidad nominal Desintegración	374.5	380.5	380.5	380.5	380.5	380.5	422.5	422.5	422.5	422.5	422.5
Capacidad nominal Reducción de Viscosidad	141	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
Capacidad nominal Reformación Catalítica	301.3	279.3	279.3	279.3	279.3	279.3	279.3	279.3	279.3	279.3	279.3
Capacidad nominal Hidrodesulfuración	987.05	926.05	926.05	926.05	926.05	1010.05	1067.45	1067.45	1067.45	1059.95	1099.95
Capacidad nominal Alquilación e Isomerización	143.93	152.46	152.46	128.46	128.46	128.46	141.86	155.26	155.26	154.28	154.78

Como se puede ver en los últimos años se ha tenido decremento en la capacidad de producción, lo que indica que los deterioros en las plantas del SNR comienzan a ser muy críticos, esto último fundamentado en distintas visitas que he realizado a las refinerías de Cadereyta, Minatitlán, Tula y Salina Cruz en las cuales he visto este deterioro y los mismos operadores me lo han comentado.

2.3 Conceptos Base

En esta sección se presentarán conceptos básicos requeridos para el entendimiento de los diagnósticos energéticos.

2.3.3 Energía

Es la capacidad que tiene un cuerpo para realizar un trabajo, esta cantidad es escalar y no se puede medir directamente, esta es la definición de la mecánica clásica (Smith, Van Ness, & Abott, 2007).

En la termodinámica es útil considerar dos grupos de energía para la energía total que conforma un sistema y estas son macroscópicas y microscópicas, al primer grupo está relacionada la energía debido a su posición o movimiento mientras que en el segundo se encuentra la energía relacionada con la estructura molecular de la sustancia.

La energía interna y la entalpía, ambas propiedades de estado dependen de la condición de la sustancia (definida por la temperatura, presión, composición y número de fases) y de la condición de referencia. La entalpía para los casos de aplicación industrial es una propiedad con mayor aplicabilidad ya que se define como:

$$H = U + PV$$

Donde U es la energía interna, P es la presión y V el volumen del sistema, esta ecuación aún no está en términos de variables no medibles por lo que diferenciando esta ecuación y sustituyendo el término de energía interna por el de cambio de entropía con T constante se obtiene la siguiente ecuación para sistemas abierto.

$$dH = TdS + VdP$$

Posterior a esto y para obtener una ecuación en término de variables medibles se utilizan las relaciones de Maxwell, quedando la ecuación de la siguiente forma.

$$dH = C_p dT + \left[V - T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \right] dP$$

Observando que todos los términos son datos termodinámicos que se encuentran fácilmente en los balances de materia y energía.

2.3.4 Calor

El calor es energía en tránsito ya que al igual que el trabajo no es algo que se pueda contener dentro de un cuerpo, esta transferencia de energía se da por la diferencia de temperaturas entre dos cuerpos en contacto, esta energía ya almacenada en un cuerpo se puede expresar como cinética, potencial o interna (Cengel & Boles , 2011).

2.3.6 Eficiencia termodinámica

Esta depende del proceso u operación así como del trabajo perdido para lograr dicho objetivo (la energía de salida para lograrlo nunca va a ser cero) así que la salida neta de trabajo de una máquina térmica es siempre menor que la cantidad de entrada de calor (Cengel & Boles , 2011).

Para obtener la eficiencia se tienen dos escenarios y cada uno depende del signo del principal objetivo del proceso, si es positivo queda como:

$$\eta_+ = 1 - \frac{LW}{Obj. Principal}$$

y por el contrario si este signo es negativo la eficiencia está dada por:

$$\eta_- = \frac{Obj. Principal}{Obj. Principal - LW}$$

La primera ecuación arrojará valores de eficiencia en un rango menor a cero y mayor que la unidad mientras que la segunda siempre resultará en valores menores que la unidad por convención de los signos.

2.3.7 Intensidad energética

Termodinamicamente es una cantidad inversamente proporcional a la eficiencia ya que a mayor intensidad de un proceso representa una disminución de la eficiencia, es independiente del volumen y es una de las cantidades base para conocer el consumo energético de un país o instalación industrial.

Desde el criterio macroeconómico sirve para medir la eficiencia energética y se obtiene mediante la relación entre el consumo energético y el producto interno

bruto, aquí cabe aclarar que esta medida se ve afectada por diversos factores entre los cuales se puede mencionar disponibilidad de materia prima, situación geográfica, capacidad industrial, precios del producto y materia prima, comportamiento del mercado y clima por lo que realizar el cálculo y la obtención de esta cantidad requiere de diversos conocimientos especializados y en muchos casos confidenciales.

El conocimiento de este término es de gran relevancia para el entendimiento y uso de los diagnósticos energéticos.

2.3.8 Indicadores de sustentabilidad en la industria de proceso

En el sector de la industria química el alto consumo de materia prima, combinado con el impacto ecológico y el hecho de que el producto cumpla con las necesidades del ser humano representa un reto para todas las compañías ya que a estas necesidades anteriormente mencionadas se suma el desarrollarse como industria de procesos sustentable, esto implica que el proceso de desarrollo del producto no tiene que tener efectos negativos sobre el ambiente, la sociedad o la economía (Mercado, 2012). Por esta razón el desarrollo y aplicación de indicadores capaces de cuantificar y medir operaciones de transferencia de masa, energía y momentum.

Un hito importante dentro de esta área de indicadores de sustentabilidad se dio en 2002 cuando la American Institute of Chemical Engineers (AIChE) propuso un conjunto de índices estos se dividen en 6 indicadores básicos que son (Mercado, 2012):

- Intensidad de uso de materia
- Intensidad Energética
- Consumo de agua
- Emisiones tóxicas
- Emisiones contaminantes

- Emisiones de gases de efecto invernadero.

Los indicadores de sustentabilidad se clasifican de acuerdo tres áreas básicas que son:

- Social
- Ambiental
- Económica
- Energía

Es claro que esta es una clasificación muy general por lo que cada una de estas áreas presenta una subdivisión, por ejemplo para un índice medioambiental se requieren información tanto energética como del balance de materia teniendo bien identificadas las operaciones unitarias y el proceso específico así como las condiciones de operación para de esta manera obtener las partes del proceso que requieren un ajuste o intervención operativos para volverlas sustentables en la mayoría posible de las cuatro áreas mencionadas anteriormente.

Para propósitos del presente documento se abordarán los indicadores medioambientales los cuales se enfocan en prevenir los impactos negativos de los procesos químicos al medio ambiente, dentro de este grupo se encuentran los indicadores energéticos y los cuales se subdividen en las siguientes categorías.

- Indicadores de consumo total: Miden la cantidad total de energía consumida para generar un volumen dado de productos o actividad y como lo dice su descripción se relacionan con el volumen y sus unidades de medición son J, KWh, BTU (Perea Gaitan & Botello Martínez, 2013).

- Indicadores de consumo específico: Indican la energía necesaria para obtener una unidad de producción y se mide en unidades de GJ/(Unidad de producción), BTU/(Unidad de producción) (Perea Gaitan & Botello Martínez, 2013).

La intensidad energética se encuentra dentro del segundo grupo y concretamente este indicador también se puede usar para la comparación de la energía real consumida por un proceso productivo y el consumo teórico energético que se esperaba tener para realizar la misma actividad y se expresa de la siguiente forma en la ecuación general para una instalación industrial (Perea Gaitan & Botello Martínez, 2013):

$$IE = \frac{\text{Consumo Energético Real}_{\text{año}x}}{\text{Consumo Energético Teórico}_{\text{año}x}}$$

Mientras que para un conjunto de instalaciones o plantas se utiliza la siguiente ecuación (Perea Gaitan & Botello Martínez, 2013):

$$IE = \frac{\sum(\text{Consumo Específico Año } X * \text{Actividad Año } X)_{\text{instalación}}}{\sum(\text{Consumo Específico Año Base} * \text{Actividad Año } X)_{\text{instalación}}}$$

Para el caso de la industria de la refinación uno de los índices más utilizados para medir la eficiencia energética de sus instalaciones es el Índice de Intensidad Energética o EII por sus siglas en inglés, el cual se mencionó en la justificación del presente documento.

2.4 Gestión de la energía en la industria de la refinación

Un sistema de gestión de la energía se define como una metodología para lograr la mejora sostenida y continua del desempeño energético en las

organizaciones en una forma costo – beneficio efectiva (CONUEE, 2014). La implementación de un sistema de gestión de la energía en la compañía al igual que cualquier proyecto tiene que seguir criterios básicos, en el caso de los proyectos de ahorro de energía estos pasos son los siguientes:

- **Energético:** Alta eficiencia energética
- **Económico:** Viable económicamente
- **Ecológico:** Con el menor impacto ambiental posible
- **Exergético:** Alta eficiencia exergética

2.4.1 Gestión de la energía de acuerdo a la norma ISO 50001, sistemas de Gestión de la Energía.

Esta es una norma desarrollada por ISO en 2011 mediante la cual se da la orientación, los requisitos para el desarrollo y correcto uso de la energía a una organización independientemente de su sector de actividad (International Organization for Standardization , 2011), su propósito global es ser una herramienta para aumentar la eficiencia energética orientada a la reducción de costos y consumo de energía y poder establecerse como un marco para las organizaciones públicas y privadas para implementar, mantener y mejorar sistemas de gestión de la energía, con el propósito de contar con un enfoque sistemático para alcanzar una mejora continua en su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, el uso y consumo de la energía, (Michel de Laire, AChEE , 2013) .

Los principales objetivos de esta norma son:

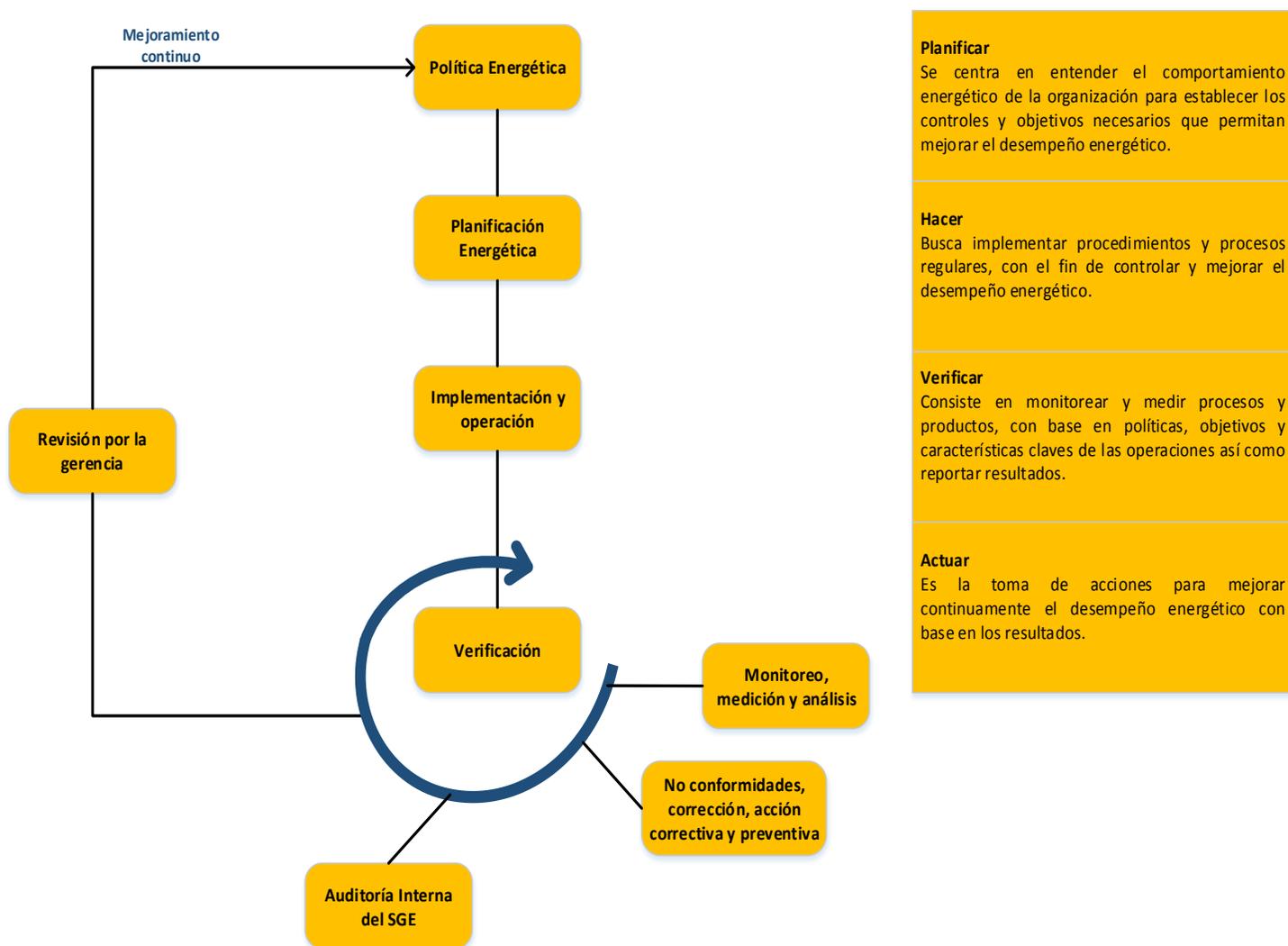
- Ayudar a las organizaciones a hacer un mejor uso en el consumo energético contando con los activos energéticos existentes (International Organization for Standardization , 2011).
- Facilitar la transparencia la comunicación sobre la gestión de los recursos energéticos (International Organization for Standardization , 2011).
- Promover las prácticas óptimas de gestión energética y reforzar el buen uso de la energía en las pautas de gestión de una empresa (International Organization for Standardization , 2011).
- Ayudar a las empresas a evaluar y priorizar la implementación de nuevas tecnologías de eficiencia energética (International Organization for Standardization , 2011).
- Promover la eficiencia energética en toda la cadena de suministro (International Organization for Standardization , 2011).
- Promover proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (International Organization for Standardization , 2011).
- Permitir la integración con otros sistemas de gestión, como medio ambiente, Salud y seguridad (International Organization for Standardization , 2011).

Para cualquier industria y compañía la energía es fundamental para sus actividades ya que representa costos económicos, ambientales y sociales debido al agotamiento de los recursos mediante los cuales se obtienen los energéticos; como las organizaciones individualmente no pueden controlar los precios de la energía, las políticas del gobierno y la economía, lo que si está dentro de sus posibilidades es tener un correcto sistema de uso de la energía y mejorar de esta manera la forma en como se gestiona, esta norma ISO se encuentra dentro de un ciclo o programa de mejora continua y esto se resumen en 4 acciones que son

- Planear
- Hacer
- Verificar

➤ Actuar

A continuación se muestra un esquema de un sistema de gestión de la



Planificar

Se centra en entender el comportamiento energético de la organización para establecer los controles y objetivos necesarios que permitan mejorar el desempeño energético.

Hacer

Busca implementar procedimientos y procesos regulares, con el fin de controlar y mejorar el desempeño energético.

Verificar

Consiste en monitorear y medir procesos y productos, con base en políticas, objetivos y características claves de las operaciones así como reportar resultados.

Actuar

Es la toma de acciones para mejorar continuamente el desempeño energético con base en los resultados.

energía.

Figura 3. Esquema de un sistema de gestión de la energía como proceso de mejora continua. Fuente (Michel de Laire, AChEE , 2013).

Dentro de este ciclo de mejora continua y para cada una de las acciones que este conlleva se tienen distintos requerimientos que se pueden clasificar como medulares y estructurales, los primeros son todos aquellos centrados en la integración del desempeño energético con las variables de control operacional

y los segundos son todos aquellos que dan la estructura o soporte a los primeros y aseguran que las personas estén conscientes del uso eficiente de la energía (Michel de Laire, AChEE , 2013).

2.4.2 Diagnósticos energéticos

La herramienta principal y obligada para llegar a establecer un programa de ahorro y uso eficiente de la energía es decir un sistema de gestión de la energía es el diagnóstico energético y se define como:

Una herramienta técnica utilizada para la evaluación sistemática del uso eficiente de la energía, definiendo así la forma de establecer el grado de ahorro y eficiencia (CONUEE, 2010).

Otra definición de acuerdo al FIDE es el conjunto de técnicas que permite determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía. Consiste en el estudio de todas las formas y fuentes de energía, por medio de un análisis crítico en una instalación consumidora de energía, para así, establecer el punto de partida para la implementación y control de un programa de Ahorro de Energía, ya que se determina dónde y cómo es utilizada la misma, además de especificar cuanta es desperdiciada (Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica , 2014).

Los diagnósticos energéticos se clasifican en 3 grupos y esto es acorde a su nivel de análisis.

2.4.2.1 Tipos de diagnósticos energéticos

Diagnósticos energéticos de primer nivel o básico: Se lleva a cabo mediante la inspección visual del proceso o instalación, el análisis de los registros históricos de operación y mantenimiento del proceso, revisión de las bitácoras de registro estadístico de consumo energético así como una revisión

de las especificaciones de diseño de los equipos consumidores para tener una idea de las áreas de oportunidad en el ahorro energético.

Este tipo de estudio es muy superficial y descansa en muchas suposiciones hechas que se hacen con la revisión visual como fugas en tuberías, mala operación de los equipos, falta de aislamiento o hábitos de operación por lo que su objetivo se centra en medidas de aplicación inmediatas que pueden o no funcionar.

Diagnósticos energéticos de segundo nivel o fundamental: Proporciona información del consumo y eficiencia energética en áreas o procesos específicos, este diagnóstico requiere de un análisis detallado de los registros históricos del proceso.

Debido al análisis detallado que se tiene que realizar se detectan y comparan las condiciones de operación con las de diseño de los equipos, ya identificado el grado de análisis se tiene que conocer el servicio energético de cada equipo así como los balances de materia y energía de la planta, planos unifilares y los índices energéticos actualizados que se aplican al sector de estudio para determinar las pérdidas y la eficiencia con la que se utiliza la energía, este diagnóstico en consecuencia de su mayor nivel de especialización genera una propuesta de reducción de costos con las medidas que deriven del análisis tomando en cuenta siempre que la inversión en estas propuestas se debe pagar con los potenciales de ahorro energético previstos. Un punto importante en este diagnóstico es contar con los instrumentos y equipo de medición necesario para realizar las mediciones de los parámetros energéticos.

Diagnósticos energéticos de tercer nivel: Proporciona información precisa derivada de un análisis exhaustivo del proceso llegando a las bases de diseño del mismo utilizando equipos e instrumentación de medición muy

especializados, este tipo de diagnóstico requiere de la participación de especialistas en cada área del proceso que se vaya a analizar y de información aún más detallada respecto a los flujos de materia, variables de proceso y la energía suministrada y consumida, la herramienta más utilizada en este tipo de diagnósticos son los simuladores de proceso.

El análisis económico se tiene que realizar de una forma más rigurosa ya que la mayoría de las recomendaciones hechas son de aplicación a mediano y largo plazo ya que puede involucrar cambio de tecnología en los procesos, lo que llevaría a sustitución del equipo y líneas (Revamps o reconfiguraciones) y el cliente tiene que saber el tiempo exacto en el que va recuperar su inversión.

p2.4.3 Herramientas de gestión complementarias

Como se mencionó en el subcapítulo anterior la norma ISO 50001 representa la principal herramienta para implementar un SGenE, sin embargo para que este sea exitoso y pueda cumplir el ciclo de mejora continua requiere de otros instrumentos complementarios.

Para la aplicabilidad de un sistema de este tipo hay una serie de puntos que es muy importante considerar, esto adquiere mayor importancia en empresas donde se busca implementar por primera vez y para propósitos de este documento se representa con PEMEX Transformación Industrial, estos puntos son:

- **Alcance de aplicación:** Aquí es definir a que partes se le aplicará el SGenE esto es a un complejo, planta o proceso.
- **Tamaño de la organización y número de empleados:** Para poder llevar a cabo el desarrollo de un proyecto de esta magnitud se requiere de la participación de la mayoría de los empleados y de su esfuerzo conjunto,

esto en función del tamaño de la empresa que si es muy grande requerirá un esfuerzo mayor para llevarlo a buen fin.

Sistemas y procesos existentes: Una parte importante y que es bueno conocer es que si se tiene otro sistema implementado de gestión mejora continua se reduce el desarrollo de procesos y procedimientos relacionados a los requerimientos estructurales que ya se vieron anteriormente y se puede enfocar más en los medulares, que la empresa ya cuente con un sistema parecido es de gran utilidad ya que la mayoría de las veces se reduce la capacitación porque los empleados ya tienen conocimiento de

muchos conceptos que son similares así como una cultura para saber implementarlo; es importante hacer énfasis en este punto ya que es la variable más importante porque va dictar las horas hombre necesarias para los requerimientos tanto estructurales como medulares, esto se puede apreciar en las siguientes tablas.

Tabla 5. Organización que ya cuenta con un sistema de gestión implementado (expresado en horas/hombre). Fuente: (Michel de Laire, AChEE , 2013)

	Alta Gerencia	Representante de la alta gerencia	Operación	Ingeniería/ Proyectos	Mantenimiento	Recursos Humanos	Comunicación y marketing	Legal	Compras	Consultor externo	Total
Análisis Inicial	8	24	8	8	8	8	8	8	8	24	112
Diseño y desarrollo del SGE	52	178	47	51	47	17	33	25	9	268	727
Compromiso de la alta gerencia	12	14	1	1	1	1	1	1	1	16	49
Requisitos medulares	30	124	46	50	46	0	0	24	8	192	520
Requisitos estructurales	10	40	0	0	0	16	32	0	0	60	158
Puesta en marcha del SGE	20	144	46	50	46	34	38	26	18	248	670
Requisitos medulares*	0	68	30	34	30	2	2	10	2	104	282
Requisitos estructurales	20	76	16	16	16	32	36	16	16	144	388
Total	80	346	101	109	101	59	79	59	35	540	1509

Tabla 6. Organización que no cuenta con ningún sistema de gestión implementado (expresado en horas/hombre). Fuente: (Michel de Laire, AChEE , 2013)

	Alta Gerencia	Representante de la alta gerencia	Operación	Ingeniería/ Proyectos	Mantenimiento	Recursos Humanos	Comunicación y marketing	Legal	Compras	Consultor externo	Total
Análisis Inicial	8	24	8	8	8	8	8	8	8	24	112
Diseño y desarrollo del SGE	52	234	47	51	47	33	65	33	17	360	939
Compromiso de la alta gerencia	12	14	1	1	1	1	1	1	1	16	49
Requisitos medulares	30	140	46	50	46	0	0	32	16	216	576
Requisitos estructurales	10	80	0	0	0	32	64	0	0	128	314
Puesta en marcha del SGE	20	164	46	50	46	50	54	26	18	272	746
Requisitos medulares*	0	68	30	34	30	2	2	10	2	104	282
Requisitos estructurales	20	96	16	16	16	48	52	16	16	168	464
Total	80	422	101	109	101	91	127	67	43	656	1797

Como se puede ver el aumento de hora/hombre es significativo y es algo que impacta en todos los rubros ya que la parte de enseñanza de conceptos nuevos y estos tomarlos y llevarlos a la práctica como una nueva cultura dentro de la empresa y en el desarrollo personal no es fácil, es por esto que el aumento de horas/hombre para introducir esta cultura nueva es tan importante y represente un factor tan relevante entre estos puntos, por mencionar algunos de estos sistemas que pueden estar implementados son ISO 9001, ISO14001, OHSAS 18001.

- **Recursos humanos:** Se tiene que organizar un equipo de energía que será el encargado de llevar la planeación, implementación, benchmarking, monitoreo y evaluación del programa por lo que se requiere una estructura organizacional con roles y responsabilidades bien definidos, se recomienda que el equipo sea multidisciplinario con personas clave de todas las área de operación para asegurar la diversidad de perspectivas y de esta manera realizar las actividades de desarrollo y herramientas para rastrear y comunicar el progreso de estas así como la transferencia de conocimiento adquirido así como las lecciones aprendidas para todo el personal de la instalación, (United States Environmental Protection Agency, 2015) el perfil que se recomienda tener para ser el líder de este equipo de energía tiene que ser nivel Senior y contar con una gran y fuerte experiencia en el área de energía, procesos industriales y uso eficiente de la energía, autoridad y liderazgo por lo que se recomienda una persona de formación en ingeniería (químico, industrial, mecánico, eléctrico) y además de la experiencia ya mencionada que tenga al menos 2 años de experiencia en la implementación y mantención de sistemas de gestión o alguna certificación, para los demás miembros del equipo dependiendo de la estructura que sea designada se adecuan los perfiles de estos.

Tabla 7. Temas sugeridos y su división para la capacitación de personal en SGenE. Fuente: (Michel de Laire, AChEE , 2013)

Cursos de capacitación/Preparación de personal	
Estratégico o crítico	Introducción a la ISO 50001
	Requisitos legales aplicables
	Auditoría interna ISO 50001
Técnico	Revisión energética
	Capacitación específica de control de personal
	Monitoreo y medición
Global	Introducción a ISO 50001 (trabajadores)

Para la capacitación de los involucrados en el proyecto SGenE se recomienda seguir mínimamente los siguientes temas:

- **Auditorías energéticas:** Esta herramienta es una evaluación objetiva de toda la organización para de esta manera tener un conocimiento seguro y confiable del consumo energético y el costo asociado, esta es clave ya que también permite identificar las variables que afectan el consumo energético así como oportunidades de ahorro – mejora y sus costos asociados generando con esto históricos de análisis para una línea base que como mencione anteriormente es crítica contar con ella.
- **Complejidad de los procesos:** Esta variable es de especial importancia ya que impacta directamente en la factibilidad del SGenE sobre todo afecta la fase del diagnóstico energético que como se vio en el capítulo anterior es la fase donde se analiza el proceso, el consumo y el uso de la energía en los procesos para encontrar las áreas de oportunidad de ahorro de energía en estos; a pesar de que todos los procesos de transformación en una refinería resultan complejos se van a encontrar aquellos que ya sea por fisicoquímica, la tecnología utilizada o el tamaño de la planta resultan más complejos por lo que requerirá mayor tiempo y recursos durante el desarrollo del SGenE.

La siguiente herramienta es muy especial y es por esto que hago este énfasis ya que si bien es una herramienta de la que se valen todos los sistemas que parten de la ISO 50001 tiene diferencias significativas para cada tipo de industria y en el caso de la refinación de hidrocarburos es muy particular.

- **Benchmarking:** Esta consiste en métricas para evaluar el desempeño de los procesos dentro de una instalación así como la eficiencia energética entre instalaciones. Esta puede ser la base para fijar metas, identificar

proyectos de reducción de energía y rastrear el progreso de estas (IPIECA, 2013). Una de las particularidades que vuelven más complejo este benchmarking es que obtener una métrica del desempeño energético en el sector de Oil & Gas no es sencillo, es esto es porque cada refinería es única, con sus propias características y adaptada a los mercados y zonas que abastece, en esencia cada refinería es un complejo individual con unidades de proceso diseñadas para producir productos refinados particulares.

Esto se puede ver en todas las refinerías a nivel mundial y el SNR es un muy buen ejemplo ya que en las 6 refinerías que hay en el territorio nacional se tienen distintos mercados, condiciones de operación y tipos de alimentación del crudo que puede ser Olmeca, Maya, Istmo, Altamira al 100% o algo muy común que se da son las mezclas de estos en distintos porcentajes y esto dependiendo de la zona de abastecimiento que se encuentre más cerca así como su capacidad de transporte; como ejemplo puedo mencionar la refinería Miguel Hidalgo en Tula la cual recibe crudo pesado (Maya) proveniente de Veracruz y ligero en menor cantidad proveniente de Salamanca, Gto. Dichos crudos se mezclan en una proporción 40% ligero y 60% pesado y esta la carga que entra en la planta Combinada I y el escenario de operación más usual (PEMEX, Refinación).

El conocer y manejar adecuadamente estas herramientas adicionales es fundamental ya que como lo mencioné al inicio el objetivo principal de este trabajo es establecer las bases para la enseñanza y transferencia de conocimiento referente a diagnósticos energéticos en los ingenieros y técnicos de operación de las instalaciones de PEMEX Transformación Industrial y que con esta herramienta se da la necesidad de crear, implementar y dar seguimiento a un sistema de gestión de la energía y esto por supuesto guiado y desarrollado por el mismo personal PEMEX Transformación Industrial.

2.4.4 Sistemas de gestión de la energía en la industria de la refinación

Como se pudo apreciar en los dos subcapítulos anteriores estos sistemas de gestión se pueden aplicar a todo tipo de organización e industria y precisamente en este apartado el fin es acotarlo a la industria de la refinación de hidrocarburos.

Dentro de la industria de Oil & Gas la industria de refinación del petróleo consume cerca de la mitad de la energía utilizada por toda esta industria; esto es contemplando todas las actividades desde la extracción hasta la petroquímica secundaria que es producción de Amoníaco, Acetaldehído, Etileno, Óxido de Etileno, BTX y Glicoles, esto impacta directamente en los costos operativos y es por esto que varias compañías poseen fuertes fondos y financiamientos para incentivar el ahorro de energía, esto también representa una poderosa herramienta ambiental para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y las emisiones contaminantes a la atmosfera por lo que al integrar todo tenemos un conjunto de beneficios que traerá beneficios a toda la compañía, dentro del ámbito de los sistemas de gestión de la energía en la industria se tienen dos conceptos que son similares pero hay que saber diferenciar, estos son eficiencia energética y conservación de la energía.

Eficiencia energética es reducir la intensidad energética de un proceso de manera que se reduzca el consumo energía obteniendo el mismo producto y esto se puede conseguir introduciendo tecnologías más eficientes, equipos o procesos (IPIECA, 2013).

Conservación de la energía esta más relacionado con la cultura, el comportamiento humano y procedimientos de operación, esto comúnmente se consigue con mejores prácticas como apagar un equipo que no este en uso o actividades innecesarias (IPIECA, 2013).

Como se mencionó anteriormente muchas compañías han desarrollado, implementado e incorporado con éxito en sus plantas de producción sistemas

de manejo y gestión de la energía basados en la norma ISO 50001 valiéndose de las herramientas que esta proporciona por lo que se han vuelto una guía, a continuación se mencionan algunas de estas compañías que han sobresalido como referencia.

- Exxon's Mobile Global Energy Management System (GEMS) cuyo objetivo son las operaciones en refinerías y plantas químicas (IPIECA, 2013).
- Petrobras Energy Efficiency Programme para refinación, cogeneración y sistemas de calentamiento (IPIECA, 2013).
- Repsol's Energy Management System en refinación y segmentos de mercado incluyendo la distribución y estaciones de combustible (IPIECA, 2013).

Al comienzo de este capítulo se indicó que dentro de la industria de Oil & Gas la refinación es una de los mayores consumidores de energía por lo que ya se tienen identificados ciertos sectores de las instalaciones y equipos que tienen el mayor consumo energético así como medidas principales usadas para disminuir dicho consumo y mejorar la eficiencia; aquí es importante aclarar que aunque ya se tengan estos puntos reconocidos como un denominador común en la mayoría de las refinerías siempre hay que revisar la línea base energética de todos los sectores de la refinería y proceder al análisis de cada uno de estos ya que hay que recordar que los sectores que se tienen identificados están dados por estudios estadísticos que contemplan un promedio general histórico y que dan solo una guía, más no es algo que ya este estipulado como canónico por lo que siempre hay que dar lugar a poder encontrar brechas y oportunidades de ahorro en cualquier lugar de la planta.

2.4.5 Organismos nacionales e internacionales de gestión de la energía

En el contexto nacional e internacional existen varios organismos regulatorios que promueven los programas de ahorro y gestión de la energía en todas las instalaciones así como las políticas de uso eficiente de la energía, enseguida un listado de algunas de estos organismos y su punto principal de atención.

Comisión Nacional Para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE): Es un organismo público descentralizado constituido en 2008 partiendo de la estructura de la CONAE que había operado desde 1989. Promueve el uso eficiente de la energía desde su producción (generación eléctrica, refinación, gas) hasta su uso final (procesos industriales, transporte, usuarios finales de electricidad etc.) además fomenta el uso y transición a nuevas energías (CONUEE, 2017) y dentro de los objetivos que buscan están los siguientes:

- Promover el uso óptimo de la energía desde su explotación hasta su consumo final y proponer a la SENER las metas a cumplir de eficiencia energética y los medios para cumplirlas (CONUEE, 2017).
- Formular y emitir las metodologías y procedimientos para cuantificar los energéticos por tipo y uso final y de esta manera determinar el valor económico del consumo y el costo de la explotación, producción, transporte y distribución (CONUEE, 2017).
- Expedir Normas Oficiales Mexicanas en materia de Eficiencia Energética (CONUEE, 2017).
- Promover la investigación científica y tecnología en cuanto a aprovechamiento sustentable de la energía en coordinación con el Instituto Nacional de Ecología (CONUEE, 2017).
- Identificar y conocer las mejores prácticas internacionales en cuanto a proyectos y programas de eficiencia energética y posteriormente poderlas llevar a la práctica a nivel nacional (CONUEE, 2017).

Dentro de las acciones y programas que lleva a cabo la CONUEE se pueden mencionar dos tipos los programas sectoriales y los transversales ambos engloban los sistemas de gestión de la energía, eficiencia energética y capacitación de personal y se distinguen porque los primeros están organizados para atender sectores en particular mientras que los segundos alcanzan e involucran a distintos sectores, dentro de los primeros se puede mencionar uno importante que es de especial interés para este documento.

1. Empresas energéticas: Este programa está dedicado principalmente a las empresas productivas del estado (CFE y PEMEX) para promover entre el personal técnico de sus instalaciones la mejora continua del desempeño energético en sus sistemas de energía a través de la aplicación de las “mejores prácticas”, “buenas prácticas” y la administración de la energía (CONUEE, 2015), esto con el fin de que las empresas puedan reducir sus costos de operación, inversión de capital y retorno de la inversión haciendo que sus procesos de producción sean mejores y más competitivos.

Este programa se divide en distintas secciones que son la asesoría técnica, marco regulatorio, gestión de la energía, vinculación a empresas energéticas, capacitación y herramientas de evaluación.

La sección relacionada con la gestión de la energía está basada en el “Manual para la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía” ya citado anteriormente el cual ha sido editado por la CONUEE y puede ser aplicado a cualquier empresa energética.

La sección de asesoría técnica brinda el apoyo técnico a las empresas y desarrolladores de proyectos para poder utilizar las herramientas de las que dispone este organismo así como el soporte para la realización de los cálculos y la interpretación práctica de estos, esta herramienta actualmente se encuentra disponible para la evaluación de los equipos con mayor

consumo energético que son calderas, calentadores a fuego directo y sistemas de bombeo por ejemplo en una caldera además de evaluar la eficiencia energética también muestra el comportamiento histórico en función de sus principales variables de operación que son: capacidad de generación, temperatura de gases de combustión, exceso de aire y rendimiento de combustible (CONUEE, 2015)

Mencionando los programas transversales el de mayor relevancia es:

- 2. Sistemas de Gestión de la Energía:** Como se vio anteriormente los sistemas de gestión son metodologías y procesos para mejorar el rendimiento energético, eficiencia, uso y consumo teniendo distintas finalidades entre las cuales destacan la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, costo de energía e impactos ambientales por lo que estos sistemas son aplicables y factibles para todo tipo y tamaño de empresa (CONUEE, 2015).

Secretaría de Energía (SENER): Es una secretaria de estado mexicana encargada de controlar, regular y administrar todos los medios energéticos como los combustibles, energía eléctrica, material radioactivo. También regula todas las concesiones que se aplican a la explotación y uso de los mismos (Secretaría de Energía , 2015). Dentro de los objetivos y acciones que lleva a cabo se encuentran conducir la política energética del país, dentro del marco constitucional vigente para garantizar el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable de energéticos que requiere el desarrollo de la vida nacional (Secretaría de Energía , 2015).

Esta secretaría lleva a cabo distintas acciones y programas para el fomento y fortalecimiento tecnológico energético del país, dentro de estas las de mayor relevancia que se pueden mencionar son las siguientes:

1. Fondos Sectoriales de Energía: Es un fideicomiso creado para atender las principales problemáticas y oportunidades en materia de hidrocarburos a través del desarrollo de tecnología y la formación de recursos especializados (CONACYT, 2014). Los principales objetivos de estos fondos son:

- Investigación científica y tecnológica aplicada, en las áreas de exploración, explotación, refinación y petroquímica primaria.
- La formación de recursos humanos altamente especializados en la industria petrolera, a fin de complementar la adopción, innovación y asimilación del desarrollo tecnológico.

Dentro del apoyo brindado por estos fondos sectoriales se encuentra la creación de centros de entrenamiento y alta especialización en energía en hidrocarburos y sustentabilidad energética, los cuales son:

- Centro de Adiestramiento en Procesos de Producción.
- Centro de Tecnologías en Aguas Profundas.
- Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía.
- Centro Mexicano de Innovación en Energía Eólica.
- Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica.
- Centro Mexicano de Innovación en Energía del Océano.
- Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar.

2. Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Materia de Energía: Debido a los grandes retos que el sector energético nacional enfrenta hoy y en un futuro próximo en las áreas de ingeniería, legal y económica por lo que la demanda de recursos con el talento y conocimiento es necesaria y con base en estas necesidades la meta de este programa es generar los incentivos y establecer el sistema de gestión para la coordinación y articulación de los esfuerzos que la Secretaria de Energía, PEMEX y CFE en conjunto con la Secretaria de Educación Pública, el CONACyT y la Secretaria de Relaciones Exteriores y de esta

manera se aproveche y potencialice la formación de talento; todo esto seguido y monitoreado por un conjunto de indicadores y un comité técnico para dar el seguimiento a su implementación que también se encargará de la coordinar las acciones de las dependencias e instituciones involucradas.

- 3. Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE):** Establece las estrategias, objetivos, acciones y metas que permitirán alcanzar el uso óptimo de la energía en todos los procesos y actividades para su explotación, producción, transformación, distribución y consumo final (Secretaria de Energía , 2014).

Este programa se desarrolla en el marco legal de la ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. El propósito de este programa es contar con distintas vertientes en cuanto a eficiencia energética de los combustibles fósiles que son la principal fuente de obtención de energía para el país y para esto se requiere una correcta combinación de políticas y regulaciones así como desarrollo tecnológico y formación de capacidades.

Cuando se diseñó esta programa se tomaron en cuenta varias estrategias y líneas de acción para promover el uso eficiente de la energía y para alcanzarlos se han considerado seis elementos.

- Programas de eficiencia energética
- Regulación
- Mecanismos de cooperación
- Capacidades institucionales
- Cultura de ahorro de energía
- Desarrollo tecnológico

- 4. Cooperación de América del Norte en Información Energética:** En diciembre de 2014 se firmó un memorándum de entendimiento entre el

ministro y los secretarios de energía de México, EUA y Canadá cuyo principal objetivo es la creación de un marco institucional para la consulta e intercambio de información públicamente disponible entre los participantes con el fin de mejorar las proyecciones energéticas en la región de América del Norte. Las áreas de cooperación definidas son **Fuente especificada no válida.:**

- Datos de comercio exterior de energía: Tablas de datos para comparar y validar la información sobre importaciones y exportaciones de energía.
- Mapas de infraestructura energética: Mapas dinámico y estático para compartir información sobre infraestructura energética.
- Prospectiva energética trilateral 2015: Documento para intercambiar
- Factores de conversión: Guía para identificar las unidades de medida utilizadas, sus abreviaturas y factores de conversión.

De la misma manera en 2016 después de la creación del portal con la información arriba mencionada se decidió por los tres países ampliar el mandato original de cooperación a uno que incluyera temas relacionados con energías limpias, reducción de emisiones y mitigación del cambio climático que al igual que el documento del 2014 también fue firmado.

Fideicomiso para el Ahorro de la Energía Eléctrica: Constituido en 1990 como una iniciativa de la CFE esta institución promueve e induce acciones para el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica en industrias, comercios, municipios, sector residencial y agrícola, ya que en su calidad de fideicomiso concede algunos de los apoyos que concede son (Fideicomiso para el Ahorro de la Energía Eléctrica, 2017):

- **Eficiencia Energética:** Promueve financiamientos y asistencia técnica para promover proyectos de uso eficiente de la energía eléctrica como lo son la aplicación de tecnologías eficientes.

- **Eco-Crédito Empresarial:** Está diseñado para apoyar al sector empresarial y productivo mediante financiamientos preferenciales para la sustitución de equipos de alta eficiencia aprobados por el FIDE que cumplan con los requisitos de sustentabilidad económica y energética.
- **Sello FIDE:** Es un distintivo que se otorga a productos cuyo proceso incide en un ahorro de energía eléctrica.
- **Educación para el Uso Racional y Ahorro de la Energía Eléctrica (EDUCAREE):** Fomenta en centros educativos, culturales, empresas y organismos internacionales la formación de personas con una cultura de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.

European Commission Energy: Es encargada de establecer un conjunto de medidas cuyo objetivo es ayudar a la unión europea a alcanzar un 20% de eficiencia energética para el 2020 ya que esta es una decisión unánime a la que llegó la unión europea pasar un mejor uso de la energía desde la producción hasta el consumo final (Energy Union, 2014); algunas de sus políticas y objetivos son:

- Los distribuidores de energéticos así como de ventas de energía al por menor tienen que conseguir un 1.5% de ahorro anual mediante la aplicación de medidas de eficiencia energética.
- Los países de la unión europea pueden optar por conseguir ahorros energéticos a través de mejoras de eficiencia como sistemas calentamiento, alumbrado o aislamiento de instalaciones.
- Los potenciales consumidores de energía deben tener un buen sistema de manejo de su consumo, esto incluye acceso libre a todos los datos y métricas de consumo.
- Incentivos para las pequeñas y medianas empresas que se sometan a una auditoría.
- Grandes compañías

OLADE (Organización Latinoamericana de Energía): Es un organismo público intergubernamental constituido en 1973 cuyo propósito es el desarrollo

sostenible y la seguridad energética de los países que la conforman así como la integración, protección y aprovechamiento de los recursos energéticos mediante apoyo técnico y gestión política. Las áreas del sector energético dentro de las cuales tiene presencia son: Hidrocarburos, Integración Energética, Energía y Acceso, Género y Energía, Renovables, Eficiencia Energética, Cambio Climático y Electricidad.

International Energy Agency (IEA): Es una organización autónoma fundada en 1974 que trabaja para asegurar la energía sea confiable, accesible y limpia para los 29 países miembros y más allá de estos; las principales áreas que en las que se enfoca esta entidad son (International Energy Agency, 2016):

- **Energía:** Promueve la diversidad en cuanto a eficiencia energética y flexibilidad dentro de todos los sectores energéticos.
- **Desarrollo Económico:** Apoyo a mercados libres para fomentar el crecimiento y eliminar la pobreza energética.
- **Conciencia Ambiental:** Análisis de la política vigente para disminuir el impacto de la producción de energía y su uso en el ambiente, especialmente para acciones correctivas contra el cambio climático.
- **Compromiso mundial:** Trabajar de cerca con los países asociados, especialmente con las mayores economías para encontrar soluciones y compartir preocupaciones energéticas y ambientales.

World Energy Council: Es la principal red imparcial de líderes facultativos que promueven sistemas de energía con grandes beneficios, estables con el ambiente y alcanzables; este organismo informa de manera global, regional y nacional de estudios, eventos de alto nivel y trabajos para mejores políticas (World Energy Council, 2016). Esta organización da apoyo a organizaciones intergubernamentales, gobiernos y compañías para que tengan sistemas de energía factibles y sostenibles, por dicha razón la institución tiene gran renombre internacional en todos los tipos de energía que van desde renovables hasta fósiles y su injerencia en la toma de decisiones y creación de

nuevas políticas en aquellas organizaciones que a las que da apoyo, los principales objetivos que persigue son:

- Recolección de datos en una empresa para promover la investigación en los medios de producción y uso de la energía de estos y analizar el impacto que tiene a corto y largo plazo la aplicación de estos programas.
- Acciones de compromiso como lo son seminarios, congresos y talleres para facilitar la aplicabilidad y uso correcto de la energía.
- Colaborar con otras organizaciones del sector energético que compartan metas similares.

2.4.6 Casos de éxito en la industria

1. El caso de The Dow Chemical Company: Energy Management:

Para iniciar esta parte es bueno mencionar que tomé este caso como referencia porque si bien no es una empresa dedicada a la refinación de crudo su sector es la petroquímica siendo la segunda más grande a nivel mundial y su programa de eficiencia y manejo de la energía provee herramientas y estrategias importantes que han demostrado su éxito en la compañía ya que tienen el enfoque metodológico de instituciones de estandarización como ANSI e ISO que han establecido marcos de referencia para la industria, comercios y otras organizaciones en el ámbito energético, por esta razón es que este caso de estudio es válido y aplicable para cualquier industria del ramo químico incluyendo la refinación de crudo.

Implementado en 1990 ha causado ahorros de energía de 40% por libra de producto hecha desde su fecha de implementación hasta 2013. La compañía ha conseguido el ahorro de 27 billones de dólares y prevenido el ahorro de 308 millones de toneladas métricas de CO₂ ya que usa la energía de sus diferentes unidades de negocio para tener un amplio rango de eficiencia energética en su operación.

Para la mayoría de las compañías el costo de la energía es pequeño, pero este no es el caso de Dow Chemical que busca una constante mejora y destina medio dólar de cada dólar ganado hacia el uso de la energía (Prossiter, 2015), claro es que no toda la energía es usada como suministro de potencia en los sitios de transformación, de hecho 2/3 de la materia que adquiere se usa como alimentación primaria para los distintos procesos de transformación, dejando con esto el 30% de los costos de Dow como energía para operar sus plantas, lo que la vuelve una de las compañías con mayor intensidad energética, por esta razón la energía constituye una propia unidad de negocio dentro de Dow que vende electricidad, gas natural y vapor a distintas unidades, un ejemplo de esto es su sitio en Freeport en Texas que genera 1000 MW de potencia eléctrica y esta a su vez la vende a otras unidades por medio del ERCOT (Electric Council of Texas), demostrando con esto su gran capacidad de producción de energía (Prossiter, 2015) y esto se puede ver en la gráfica 21 de desempeño energético en función del tiempo.

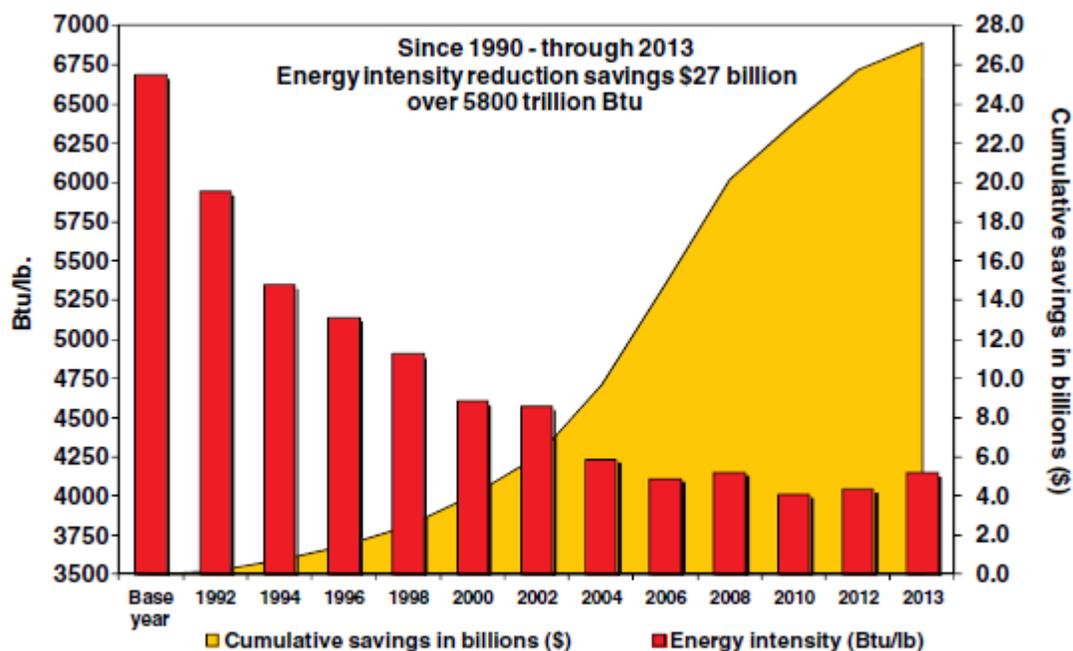


Figura 4. Desempeño de la Intensidad Energética en Dow 1990 - 2013 (Prossiter, 2015)

Dentro de las operaciones internas de Dow está un programa de liderazgo de eficiencia y conservación energética (EE&C) en la cual el equipo trabaja desde la unidad de negocios de energía que incluye la participación de al menos 40 roles en general, los cuales se dividen en 26 líderes en las diversas unidades de negocio, 14 líderes de sitio y algunos líderes individuales en las grandes plantas individuales, es importante mencionar que al igual que muchas compañías Dow no tiene personal con posiciones exclusivamente para eficiencia energética; como se mencionó anteriormente el equipo de EE&C es el encargado de trabajar en todos los esfuerzos de la compañía respecto ahorro de energía, entonces la cantidad de tiempo empleado se maneja parcialmente por el equipo de base o regular de EE&C mediante reuniones y reportes periódicos o cíclicos y la otra parte por acciones específicas emprendidas en sitios o plantas en respuesta a cambios operacionales o inversión en proyectos ya sea de revamp, modificaciones o instalación de nuevas unidades dentro de la misma planta.

Para entender y poder comprender mejor esto hay que analizar el programa EE&C con mayor detalle.

Dow opera distintos sitios de manufactura dentro de los cuales se operan diversas plantas individuales; esto es que pueden operar una planta de olefinas, cloro y fuerza dentro del mismo sitio o complejo y es aquí donde los líderes de sitio toman un papel realmente importante ya que tienen que ver y tomar todas o la mayoría de las oportunidades de ahorro de energía en cada planta; un ejemplo son los sistemas de vapor, estos necesitan un mantenimiento continuo especialmente las trampas de vapor que son los dispositivos similares a las válvulas que remueven el condensado de las líneas manteniendo el vapor fluyendo. El rol de un líder en este punto es por ejemplo mantener los contratos de mantenimiento de todas las trampas de vapor del sitio; por esta razón es que los líderes también juegan un rol importante en la cultura de la compañía ya sea creando buenas relaciones

con los operadores o brindando apoyo e información para alcanzar las metas energéticas previstas.

Una herramienta muy especial que tiene Dow y que la ha ayudado a tener un control adecuado del uso de la energía es un sistema de reportes centralizados que a su vez si así lo requiere la planta puede desarrollar nuevos elementos de reporte mucho más detallados, el poseer esta herramienta tan útil también es un gran compromiso para la compañía ya que las métricas que desarrolló representan indicadores agresivos y de alto nivel que las unidades de negocio y los sitios deben utilizar para desarrollar un rastreo y una mejora de estos.

Otro de los compromisos que mantiene Dow y que lo mencioné anteriormente es un cambio en la cultura de sus empleados ya que por ejemplo tiene el reto de persuadir a los managers de producción para considerar cambios relacionados a mejores prácticas operativas así como el uso de nueva tecnología, manteniendo claro está la calidad del producto, el volumen de producción, confiabilidad y seguridad de los equipos, en este punto como en muchas relaciones se dan conflictos de intereses entre el equipo de energía y el equipo de operación por lo cual se crearon centros de tecnología para cada unidad de negocio en el cual laboran expertos de la tecnología perteneciente a la unidad de negocio y con uno o más expertos del equipo EE&C, en los cuales en hay un director que le reporta directamente al líder de la unidad de negocio (Prossiter, 2015) dando como resultado una amalgama dentro de la cual se busca tanto el desarrollo de la tecnología y el proceso así como el desarrollo de buenas relaciones que permitan la cooperación del equipo de operación con el de EE&C en las propuestas tanto de ahorro como de mejora en los procesos y unidades.

Anteriormente se mencionó que es la EE&C y como está constituida, ahora se verá una estructura más detallada en la siguiente figura.

Líder Global EE&C	Líder EE para negocio A	Líder EE para negocio B	Líder EE para negocio C	Líder EE para negocio D	Líder EE para negocio E
Líder EE de sitio 1	Planta A 1	Planta B 1	Planta C 1	Planta D 1	Planta E 1
Líder EE de sitio 2	Planta A 2	Planta B 2	Planta C 2	Planta D 2	Planta E 2
Líder EE de sitio 3	Planta A 3	Planta B 3	Planta C 3	Planta D 3	Planta E 3
Líder EE de sitio 4	Planta A 4	Planta B 4	Planta C 4	Planta D 4	Planta E 4
Líder EE de sitio 5	Planta A 5	Planta B 5	Planta C 5	Planta D 5	Planta E 5

Figura 5. Equipo de Energía de Dow Chemical (Prossiter, 2015)

Una mejor explicación de la figura anterior es que cada líder EE para cada negocio es el responsable del respectivo líder del centro de tecnología y este líder de negocio trabaja de manera individual para cada planta del negocio; por ejemplo cada planta de olefinas tiene una persona asignada con el líder de equipo EE&C de las plantas de olefinas por lo que el rol del centro de tecnología es brindar apoyo en la ingeniería y tecnología desarrollando ya sea nuevas especificaciones para los productos o equipos así como trabajar con los operadores de la planta para mantener y aplicar mejores prácticas operativas.

Recolección de datos y el sistema de reportes: Una herramienta de utilidad global

Un elemento clave del programa EE&C de Dow es la recolección de datos, el reporte de los mismos y el sistema de cuentas global alrededor de la compañía (Global Asset Utilization Reporting, GAUR). Este sistema

recolecta datos de distintos puntos de medición de cada planta y los va sumando a un número total de BTU reportando al final los BTU de todo el sitio con las libras de producto producidas, engañosamente este reporte luce muy sencillo pero hay una gran complejidad detrás de los cálculos desarrollados por el personal de ingeniería ya que el cálculo se basa tanto en la inclusión tanto de los flujos energéticos de commodities como los flujos intermedios de proceso y esto es con la finalidad de lograr una estandarización y convertir todo a equivalentes de BTU que como mencioné anteriormente son las unidades obtenidas del reporte GAUR y esto le permite a Dow instituir procedimientos formales y bien documentados para asegurar la consistencia y la calidad de la información a través de toda la compañía.

Este reporte abarca toda la compañía desde las unidades de negocio hasta los niveles corporativos y forma la base de la producción energética dentro de los reportes trimestrales de sustentabilidad, dichos reportes son enviados al líder de la unidad de negocio así como a los operadores en las plantas y los líderes en sitio con lo cual se va dando un seguimiento a todas las acciones efectuadas.

Ahora que ya se ha visto la metodología que Dow utiliza hay que enfocarse en cómo mediante esta metodología se consiguen ahorros energéticos.

Típicamente Dow opera sus plantas de manera continua es decir 24 horas durante 7 días (Prossiter, 2015) tratando el reducir al máximo el tiempo dedicado a paros programados o de emergencia si se llega a dar el caso. Un buen ejemplo de como se consiguen estos ahorros es la planta de hidrocarburos ligeros en Freeport, Texas que consiguió en 2008 el premio del American Chemistry Council de eficiencia energética por el reemplazo y mejora de la capacidad de 10 hornos de Etileno por 5 altamente eficientes y de última tecnología lo que mejoró en 10% el consumo de energía de 7

plantas del sitio, traducido en un ahorro de 2000000 MBtu/año (Prossiter, 2015).

Como se mencionó anteriormente Dow ha realizado grandes esfuerzos para mantener de forma continua las mejores con el fin de aumentar la eficiencia en sus procesos, concretamente el uso del método pinch ha sido muy socorrido en las tres últimas décadas para encontrar los objetivos factibles en cuanto ahorro de energía dentro de sus plantas de proceso.

Otra de las prácticas en las que Dow se enfoca son los problemas en su amplia cadena de suministro entre los cuales se pueden mencionar el impacto de la extracción y desecho de agua, búsqueda de nuevas fuentes de energéticos como el gas natural, ejemplo de ello es la instalación de Dalton, Georgia donde precisamente una parte del gas natural utilizado proviene de un relleno sanitario u otra fuente que también usa la empresa es la caña de azúcar.

Como se puede ver Dow Chemical es una de las pocas empresas con objetivos de ahorro energético a largo plazo (10 años) y que al término de este tiempo aumenta las métricas y estándares a cumplir para los siguientes 10 años, esto muestra que el ahorro de energía no es algo fácil o trivial de conseguir para compañías donde esto comienza a representar un problema, es por esto que el caso de Dow deja distintas lecciones aprendidas como:

- Demostrar compromisos de liderazgo corporativo.
- Construir una estructura organizacional apropiada para homogeneizar y liderar el programa.
- Establecer un sistema robusto de medición, rastreo y reporte con el fin de administrar el progreso.
- Establecer metas y objetivos claros y revisarlos sobre el tiempo para saber si los objetivos iniciales se cumplieron.

- Comunicar la importancia de la eficiencia energética como un valor central dentro y fuera de la compañía.
- Reconocer el éxito premiando a los empleados y las unidades de negocio por los logros cumplidos.

3 Caso de Estudio: Procesos en la industria de la refinación

Una parte fundamental para poder realizar un diagnóstico energético y en general para cualquier proyecto que requiera la implicación del área de proceso es tener un buen conocimiento de los fundamentos técnicos y teóricos de los procesos existentes dentro del complejo, es decir se tiene que tener una noción clara de las variables involucradas, su nivel de importancia así como criterios de ingeniería bien fundamentados para comprender la operación de las mismas.

El consumo de energía por proceso en una refinería de acuerdo al consumo total se da en el siguiente orden; aclarando que esto depende estrictamente del número, capacidad de unidades y tipos de proceso.

A modo de introducción se presentan en la siguiente tabla las unidades de proceso de una refinería de EU de acuerdo a su consumo energético.

Tabla 8. Balance de total de energía para una refinería de EU en 2011.

Fuente: (United States Environmental Protection Agency, 2015)

Procesos	Rendimiento	Combustible	Vapor	Electricidad	Final	Primaria
	MMbbl	TBTU	TBTU	GWh	TBTU	TBTU
Desalado	5462.7	0.2	0	273.1	1.1	3.1
Dest. Atm.	5462.7	369.3	230.4	3714.7	681.2	708.1
Dest. Vacío	2507.5	119.9	130.4	877.6	292.3	298.6
Craqueo Térmico	774.6	90	-11.2	4802.8	91.8	126.7
FCC	1830.6	105.1	0.5	6810	129	178.4
Hdrocraqueo	537.9	72.7	39.2	6024.3	144.1	187.8
Reformado	1078.5	190.7	93.7	3160	323.2	346.1
Hidrotratamiento	4835.9	332.7	354.9	20310.8	862.9	1010.2
Desasfaltado	110.9	15.9	0.3	210.8	17	18.5
Alquilación	365.9	13	120.8	2634.8	178.9	198
Aromáticos	86.2	10.3	3.6	258.5	15.9	17.8
Asfalto	240	50.2	0	624	52.3	56.9
Isomerización	203.8	90.1	39.8	397.4	143.2	146

Procesos	Rendimiento	Combustible	Vapor	Electricidad	Final	Primaria
	MMbbl	TBTU	TBTU	GWh	TBTU	TBTU
Lubricantes	70.4	90.9	2.6	1295.2	98.7	108.1
Hidrógeno	5083.2	228.7	0	762.5	231.3	236.9
Azufre	11.2	0	-100.5	134.3	-130	-129.1
Uso total en el proceso		1780	905	52291	3133	3512
Compras			158.3	46195		
Generación en sitio			746.3			
Cogeneración		65	28.6	6096		
Generación en calderas		932.1	717.7			
Generación de combustibles						
Consumo total de energía		2777	158	46195	3093	3475

Notas adicionales a la tabla anterior:

1. La capacidad de la planta de Hidrógeno es MMlb/año y de Azufre en MMton/año
2. El combustible final es calculado estimando el combustible de la caldera para generar el vapor usado. La electricidad es contabilizada como la electricidad en sitio que es de 3412 BTU/Kwh.
3. El uso de combustible primario incluye el combustible de caldera y el usado para generar electricidad. Incluyendo las pérdidas por transmisión y distribución la eficiencia de la red es de 32% y electricidad contabilizada de 10660 BTU/Kwh. Algunas refinerías operan con ciclos combinados de altas eficiencias por lo que para la comparación Solomon usa la electricidad contabilizada de 9090 BTU/Kwh.
4. La cogeneración se asume como un gran ciclo simple de turbinas de gas con una eficiencia de 32%.
5. La eficiencia de las calderas está estimada en 77%.

Este balance está basado en una refinería con las unidades y capacidad instalada enlistadas en la tabla anterior tomadas de un promedio nacional pero esto cambia de refinería a refinería ya que como mencioné anteriormente estas instalaciones se adecuan al mercado y región donde se encuentran

además de otros factores que influyen como la compañía petrolera que las construyó por mencionar alguno de estos.

A continuación se explicarán a detalle los procesos que involucran mayor consumo energético y donde de acuerdo a distintos análisis históricos se han encontrado diversas áreas de oportunidad.

3.2 Destilación combinada

Este es el proceso más antiguo y el que mayor importancia tiene dentro de la refinería ya que del petróleo crudo se obtienen distintas fracciones como la gasolina, diésel y otros productos de alto valor agregado.

El crudo se precalienta en un tren de intercambio y finalmente se vaporiza una parte a una temperatura cercana a la de los productos del domo y los cortes laterales, este efluente del horno se flashea antes de entrar a la columna atmosférica en una cámara de preflash, el líquido se manda al fondo de la columna para que por medio del vapor del rehervidor recuperar componentes ligeros y lo restante se considera residual, la temperatura del fondo para prevenir la desintegración tiene que estar en un rango entre 700 – 750 °F posterior a esto el residuo de la columna atmosférica se manda a un horno para calentarlo aproximadamente a 770 °F y así alimentarlo a la columna de vacío que opera a una presión entre 80 -110 mmHg, el objetivo principal de esta segunda columna es separar del residual del crudo el VGO ya que este es una alimentación principal para las unidades de FCC y de hidrocraqueo además de este también se obtienen distintos productos como diésel pesado, fuel oil si el residuo de vacío de la columna se mezcla con pequeñas cantidades del corte en el rango de diésel/keroseno y el resto se manda a la planta viscorréductora.

Las oportunidades de mejora energética en estos procesos son la adición de reflujos con pump-around para aumentar la transferencia de energía, la

recuperación de energía en los intercambiadores de calor (integración térmica), mejoramiento de las eficiencias de separación y tratar de usar en su mayoría los combustibles residuales obtenidos como son gases de hidrocarburo e hidrógeno (United States Environmental Protection Agency, 2015).

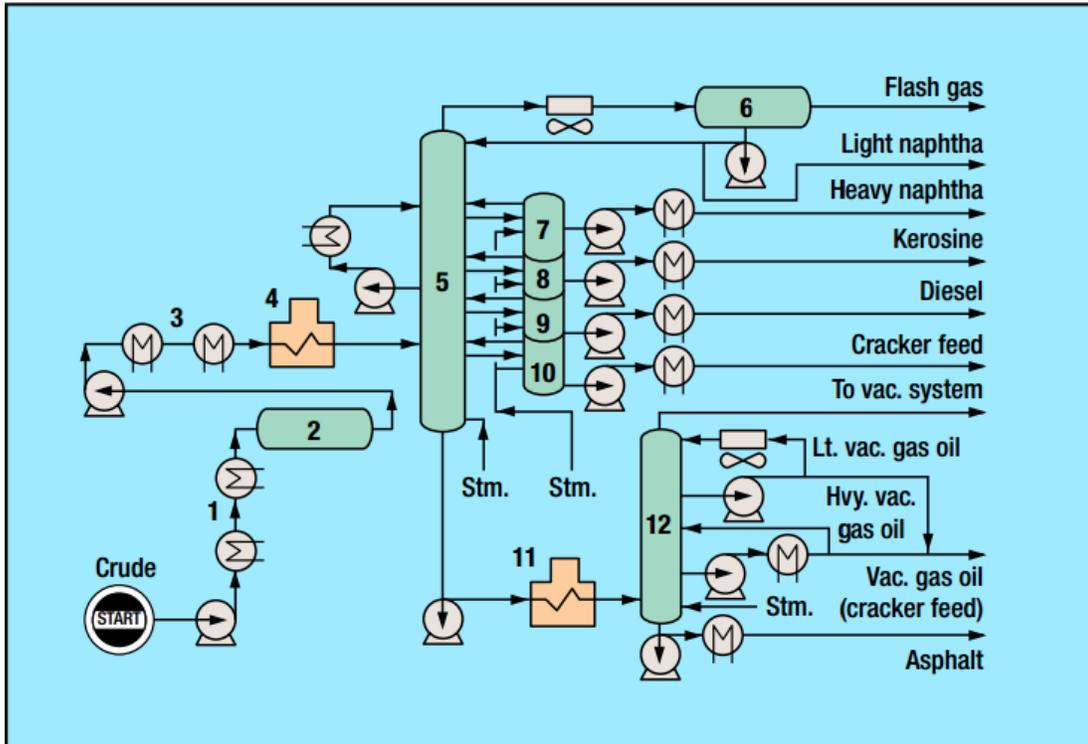


Figura 6. Proceso de Destilación. Licenciador Foster Wheeler (Processing, 2008).

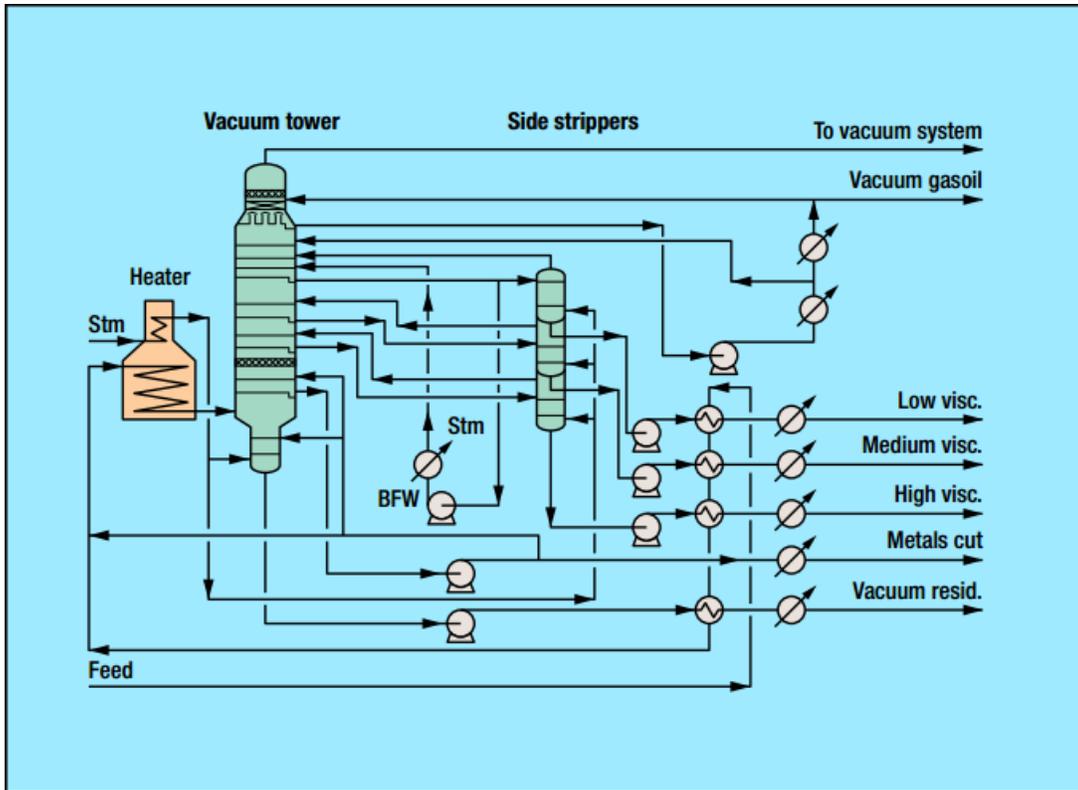


Figura 7. Proceso de Destilación al Vacío. Licenciador Uhde GmbH (Processing, 2008).

3.3 Hidrodesulfuración (HDS)

En un proceso de Hidrodesulfuración es usado para reducir el Azufre, Nitrógeno y aromáticos y de esta forma producir nafta baja en Azufre, diésel bajo en Azufre así como una mejor alimentación a la unidad de FCC.

Para este proceso se utilizan reactores de lecho empacado con varias camas de catalizador, dicho catalizador puede ser una mezcla entre NiMo y CoMo a altas presiones (150 – 200 atm) y temperaturas (350 – 425 °C) y en una atmosfera rica en Hidrógeno. La alimentación se mezcla con Hidrógeno rico que se precalienta en un horno de carga para pasar posteriormente al reactor, el efluente del reactor se enfría y se manda a un separador flash de donde se obtiene Hidrógeno de recirculación rico al cual se le remueve posteriormente el H₂S y se utiliza como gas de enfriamiento, en cuanto a la parte a la fase líquida se lleva a un segundo flash para recuperar más Hidrógeno y posteriormente el líquido restante se lleva a una torre de absorción o fraccionamiento para remover la nafta y los ligeros por el domo y obtener el producto en el fondo, esto se puede apreciar en el siguiente diagrama de flujo.

Las áreas energéticas de mejora para este proceso son el calentamiento de la alimentación al reactor en calentadores a fuego directo así como el consumo de hidrógeno para la reacción de hidrodesulfuración, en esta última hay que aclarar que es un consumo indirecto porque el hidrógeno se genera en otros proceso que al final tienen un consumo de energía (United States Environmental Protection Agency, 2015).

3.4 FCC (Fluid Catalytic Cracking)

Este proceso se utiliza para la conversión de gas oil y residuos en olefinas (C_3/C_4) ligeras, gasolinas de alto octanaje y destilado, el cracking se consigue a altas temperaturas, en presencia de un catalizador que puede ser zeolita o alumina y en ausencia de Hidrógeno.

Este proceso se divide en varias secciones las cuales son reacción, gas de combustión, fraccionador principal y recuperación de vapores. Comúnmente la alimentación entra a una temperatura entre (205 – 400 °C), esto se hace dependiendo de la unidad por un tren de intercambio que aprovecha la energía de las corrientes de fondo y domo del fraccionador principal o por calentadores a fuego directo, posteriormente entra al reactor donde comienzan las reacciones de cracking cuando la alimentación es evaporado por la alta temperatura del catalizador regenerado, esta temperatura de reacción o cracking se encuentra entre (677 – 732 °C) mientras que la temperatura de regeneración de varía en un rango de (496 -565 °C) posteriormente al salir del riser la mezcla de vapor con catalizador entra a unos ciclones de separación alojados dentro del reactor principal al salir de la sección de reacción la corriente de productos entra al fraccionador principal cuyo propósito principal es sobrecalentar y enfriar los productos del reactor antes de entrar a fraccionamiento y recuperar los líquidos de los vapores de reacción (Sadeghbeigi, 2012) al igual que en la destilación primaria esta columna tiene varios cortes de donde se obtienen gas, aguas amargas, gasolinas, aceites pesados y destilados intermedios, como se pudo apreciar esta planta representa una mayor complejidad por la cantidad y lo especializados que son sus equipos, en la figura se muestra el proceso.

El mayor consumo de energía en este proceso se tiene en el precalentamiento de la corriente de alimentación para la reacción que como se vio anteriormente es muy alta, adicional a esto otro gran consumidor de energía es el calentador

3.5 Reformación catalítica

En la reformación catalítica la nafta (composición principal es: parafinas, naftenos y aromáticos) o destilado ligero es el compuesto clave ya que a partir de esta se obtienen productos aromáticos, mezcla de gasolina de alto octanaje y una porción significativa de Hidrógeno.

Las corrientes de alimentación a la unidad es una mezcla de nafta hidrotratada e Hidrógeno de recirculación que se precalientan con el intercambio de calor del efluente del reactor y un horno de carga a la unidad que elevan dicha corriente a la temperatura de reacción (400 °C – 500 °C), se utilizan reactores tipo PBR en un arreglo vertical empacados con un catalizador de Platino además de contar con una unidad de regeneración para el catalizador que se desactiva, entre cada reactor hay un sistema de intercambio para mantener la temperatura de reacción, el efluente del reactor se enfría y separa en una fase vapor y una líquida, la fase vapor es rica en Hidrógeno del cual una parte se manda a compresión y recirculación y la otra al cabezal de distribución de combustible mientras que la fase líquida se bombea a una torre estabilizadora para fraccionar los hidrocarburos ligeros del líquido de alto octanaje. En la figura siguiente se muestra el diagrama de flujo de proceso.

Los principales consumos de energía en este proceso son el precalentamiento de la alimentación previo a los reactores en el calentador a fuego directo y la tecnología que se tenga en la zona de reacción – regeneración es decir si el proceso es continuo, cíclico o semi regenerativo ya que en el último involucra el paro de la planta para el cambio del catalizador (United States Environmental Protection Agency, 2015).

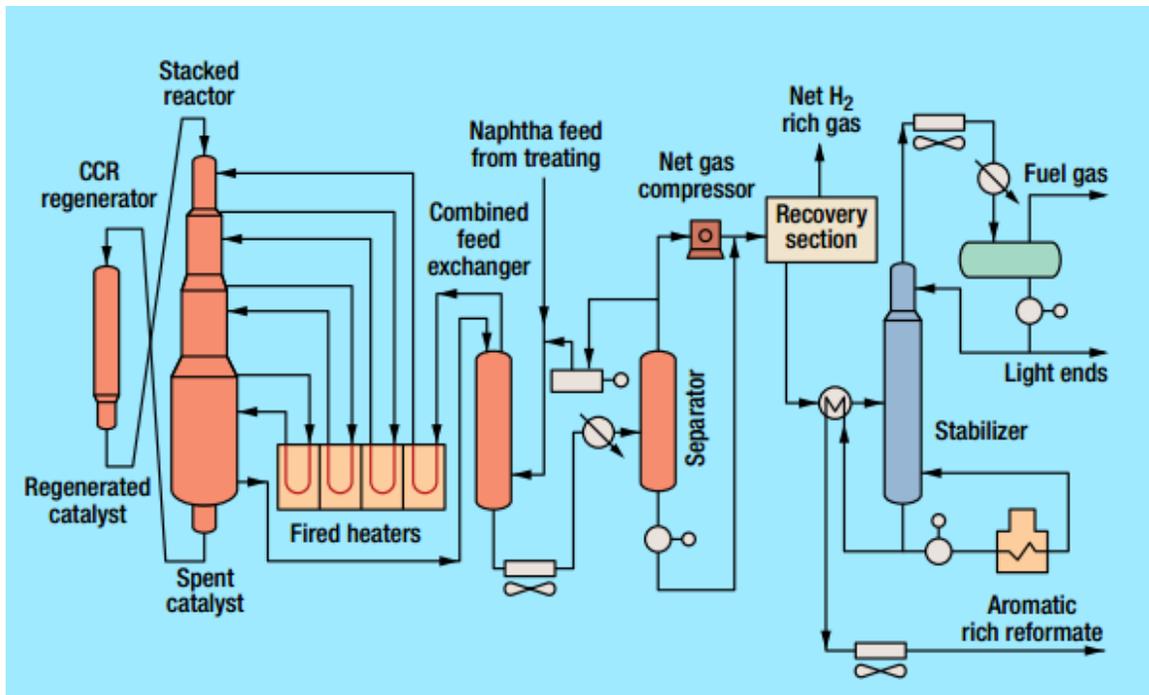


Figura 10. Proceso de reformación catalítica. Licenciador UOP. (Processing, 2008)

3.6 Alquilación

Este es un proceso de gran importancia en la refinación para la producción de alquilos que es una cadena ramificada de hidrocarburos que se adhiere a la gasolina para mejorar su calidad ya que consigue una combustión limpia, un rango de ebullición medio, reduce la presión de vapor del pool de gasolinas y el contenido de olefinas ($C_3 - C_5$) por la conversión de estas en los componente del alquilo; este proceso ha cobrado mayor importancia en los últimos años para reducir la producción de MTBE que es altamente contaminante.

La alimentación a la unidad de alquilación es principalmente LPG (C_3/C_4) de la unidad FCC que son productos del domo del splitter de separación e isobuteno, esta corriente se mezcla con agua y se enfría a 14 °C en un intercambiador para posteriormente pasar al reactor de alquilación, estos reactores son vessels con una mezcla continua y un haz de tubos para la dispersión del calor posteriormente pasa a una sección de refrigeración que consiste en una trampa de succión y un flash de dos compartimentos donde en una parte se encuentra el refrigerante y en otra el efluente del reactor; aquí hay que aclarar que cuando se utiliza el proceso de alquilación con HF no es necesaria esta sección, para la regeneración del ácido (que debe tener la mayor pureza posible) se utiliza una columna de regeneración ácida para no permitir la formación de fluoruros orgánicos, por último se precalienta la alimentación a 74 °C y entra a una torre de separación de isobutano en la cual se extrae este componente de los productos alquilados que se obtienen en el fondo de la columna, en la figura 11 se muestra el esquema de este proceso.

Los principales consumos energéticos de esta unidad son el uso de vapor para los intercambiadores de las columnas y energía eléctrica.

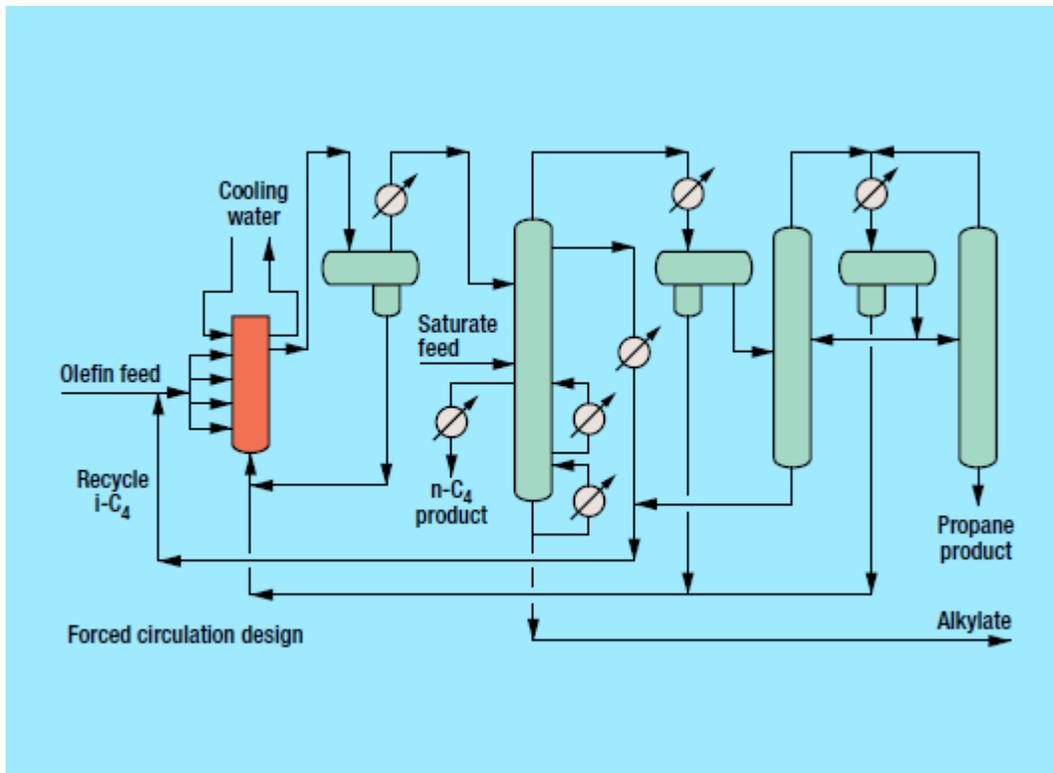


Figura 11. Proceso de alquilación con HF. Licenciador UOP. (Processing, 2008)

3.7 Isomerización

La mayoría de las gasolinas requieren un agregado de parafinas o nafta ligera para reducir el contenido de benceno proveniente de la reformación catalítica en el pool de gasolinas, establecer los límites superior e inferior del destilado y cumplir con las especificaciones de desempeño ya que los hidrocarburos C_5/C_6 ramificados presentan un alto octanaje lo que hace que incluir estas parafinas sea adecuado.

Previo a la sección de reacción se encuentran dos pares de secadores, el primero es para secar el Hidrógeno de repuesto y el segundo es para separar el agua de la nafta ligera y que de esta manera no se dañe el catalizador en los reactores posteriormente se calienta la alimentación por medio de dos intercambiadores con el efluente del reactor, la sección de reacción se emplean reactores de lecho fijo en una atmósfera de Hidrógeno para minimizar las reacciones de hidrocraqueo y favorecer las de isomerización, el efluente del reactor se enfría y se manda una columna estabilizadora donde en el domo se obtiene gas residual y en el fondo se obtiene el líquido isomerizado que posteriormente se transfiere a la gasolina para su mezcla, aquí hay que mencionar que la separación de las parafinas C_5 , $i-C_5$ y C_6 es difícil por lo que una separación por membranas es más efectiva que una destilación, el esquema de proceso se muestra en la figura 12.

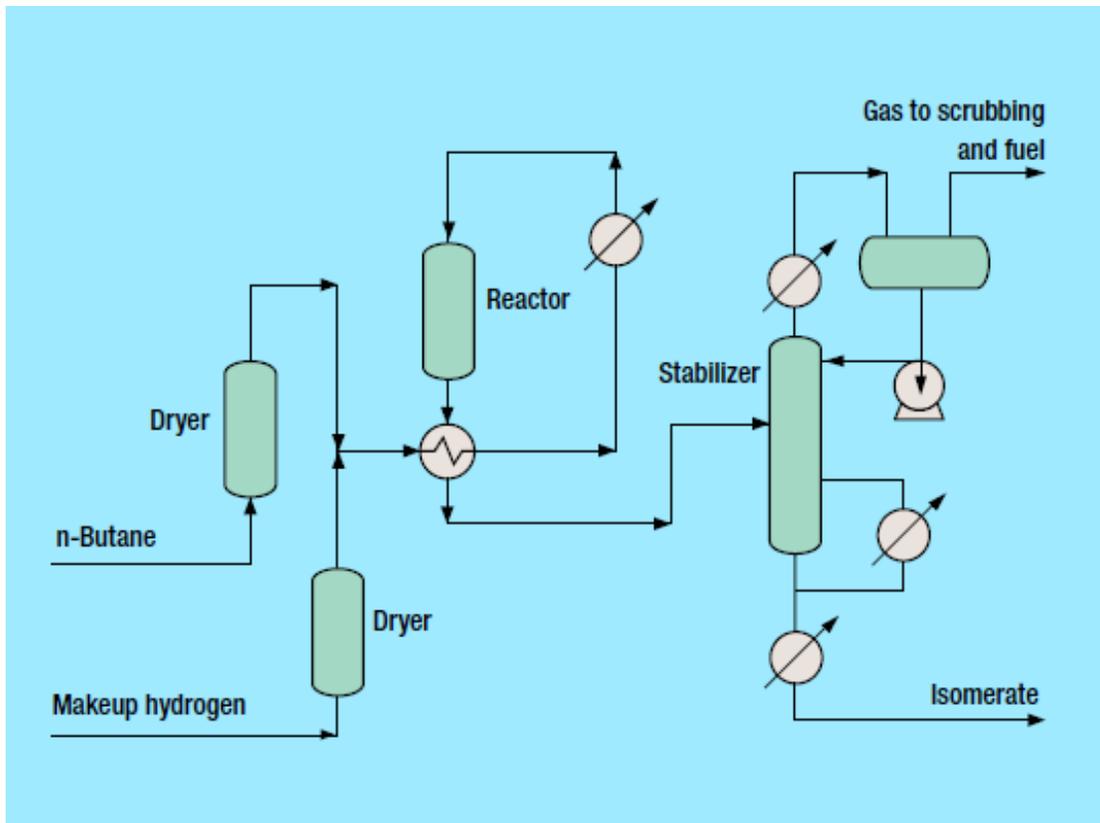


Figura 12. Proceso de Isomerización. Licenciador UOP (Processing, 2008).

3.8 Hidrógeno

Este proceso ha cobrado mayor relevancia en las últimas décadas debido principalmente a la regulación ambiental ya que se requieren productos más estables, limpios por lo que los procesos de hidrotratamiento son más usados lo que aumenta la demanda de Hidrógeno, el proceso más usado para esto es la reformación con vapor.

La planta comúnmente se compone de 4 unidades, primero la corriente se precalienta a 350 – 400 °C y se somete a una desulfuración para remover el Azufre y otros contaminantes posteriormente se mezcla con vapor y se manda a un reformador, esta reacción ocurre sobre un lecho de catalizador de nickel a presiones entre 20 – 40 bar y temperaturas típicas de 860 °C – 890 °C para convertir esta corriente de reformado en gas de síntesis, este gas de síntesis se trata con monóxido de carbono y una unidad PSA para obtener Hidrógeno de alta pureza, algunas unidades cuentan con un sistema de recuperación de calor y un tren de enfriamiento a la salida del reformador para mayor eficiencia energética, el esquema se presenta en la figura 13.

El mayor consumo de energía en este proceso es el uso de combustible para calentar los reformadores, vapor para el reformado con vapor y energía eléctrica para la compresión del gas.

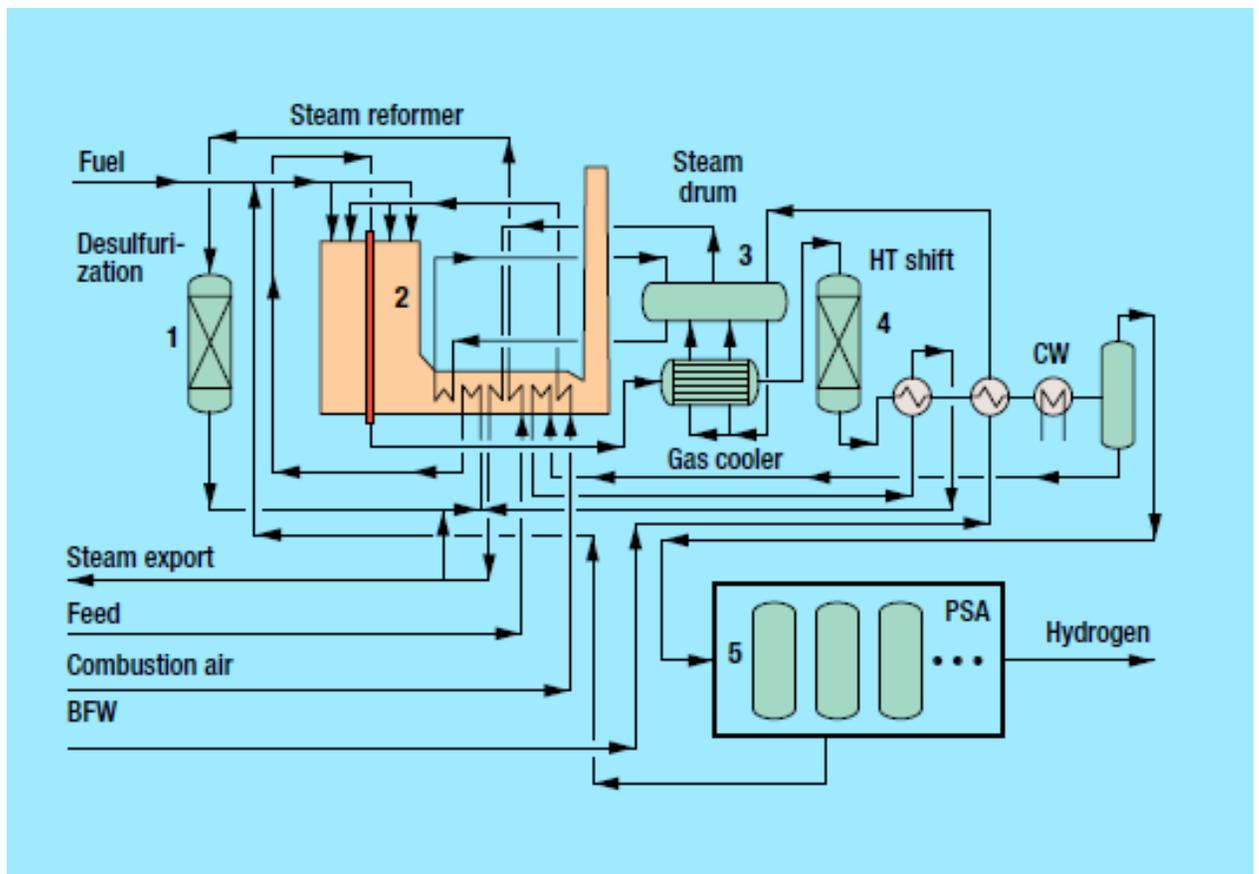


Figura 13. Proceso producción de Hidrógeno. Licenciador Uhde GmbH (Processing, 2008).

A manera de resumen y tomando como base la refinería Miguel Hidalgo, Tula de Allende, Hidalgo se presenta una lista de las plantas que integran la refinería.

Tabla 9. Organización de plantas de proceso de la refinería Miguel Hidalgo (PEMEX). Fuente (PEMEX REFINACIÓN, 2014)

Planta de Proceso	
Alquilación	MTBE (Metil Terbutil Eter)
Catalítica (FCC)	TAME (Teramil Metil Eter)
Hidrodeshulfuración Dest. Intermedios	Primaria
Destilación al vacío	Asfaltos
Hidrodeshulfuración profunda gasolina	Reductora de Viscosidad
Generadora de Hidrógeno	Reformadora de Naftas
Reformadora de Hidrógeno	Fraccionamiento Propano-Propileno
Hidrodeshulfuración de gasolina	Aguas Amargas
Isomerizadora de butanos	Azúfre
Isomerizadora de pentanos	Fuerza y Servicios Auxiliares
Hidrodeshulfuración de residuales	Planta Agua desmineralizada (UDA)
Hidrodeshulfuración de Gasóleos	PTAR y PTAN

Cabe hacer la aclaración que las plantas no son iguales en todas las refinerías pero los procesos que tiene todo el SNR tienen las mismas bases de ingeniería.

Adicional a las áreas de oportunidad que se revisaron anteriormente en cada una de las plantas por separado se mencionan acciones generales para reducir el consumo energético en las instalaciones que han sido indicadas por el benchmarking y el cual indica que estas son: servicios (30%), calentadores a fuego directo (20%), optimización de procesos (15%), intercambiadores de calor (15%), motores y sus aplicaciones (10%) y otras aplicaciones entre las que se encuentran sistemas de control y monitoreo y software especializado (10%) (United States Environmental Protection Agency, 2015), dentro de estas áreas se pueden clasificar las acciones para el aumentar la eficiencia energética en los que se encuentran:

- Operación, mantenimiento y cambio de equipo existente: El primero de estos puntos y de acuerdo a la experiencia de varias compañías petroleras genera mejoras en la eficiencia energética de 15 – 20%.
- Sistemas de control avanzado (APC) y monitoreo de procesos: Estos generan ahorros aproximadamente del 5%, esto reduce el tiempo para el desempeño de alguna tarea y a menudo mejora la calidad del producto, disminución de costos de mantenimiento, tiempo de procesamiento y consistencia de datos para así poder optimizar el proceso; dentro del mercado hay varios proveedores de SCD para procesos industriales por mencionar algunos de estos se encuentran Schneider, Emerson, ABB, Honeywell y Yokogawa cuya principal función es la automatización y control del proceso para mejorar la productividad y eficiencia, reducción de tiempos de procesamiento y costos de mantenimiento adaptando la arquitectura de los sistemas (alarmas, ESD, servidores) y la solución a las necesidades de la planta como pueden ser concentraciones de ciertos compuestos o especies en los equipos, oxígeno y combustible en los quemadores e identificar fugas en los procesos; otras herramientas son el uso de software avanzado para monitoreo y mejora del desempeño, algunas de estas herramientas son software de administrador de alarmas, analizador de

seguridad en los procesos y simuladores para entrenamiento de operadores (OTS) para entrenar correctamente tanto en el proceso como en el control de sus unidades a los ingenieros y operadores y de esta manera logren una operación óptima de su planta.

- Cambios en el comportamiento, cultura y actitud del personal: Se busca desarrollar habilidades de ahorro de energía y que la empresa adquiera un enfoque de ahorro energético para concientizar al personal de llevar a cabo en su labor diaria y esto, aunque representa el ahorro en pequeñas cantidades de energía, al aplicarlo por periodos prolongados y siendo constantes se tiene un efecto sustancial y satisfactorio, esto requiere del entrenamiento y la capacitación del personal.

Como ejemplos de aplicabilidad en áreas de las refinerías de las acciones mencionadas anteriormente se pueden mencionar las siguientes.

- 1. Intercambiadores de calor:** Los intercambiadores son equipos que se utilizan en toda la refinería para quitar energía contenida en las corrientes de proceso y recobrar energía de los mismos procesos, por lo que aumentar su eficiencia u optimización es una gran área de oportunidad. Las incrustaciones o ensuciamientos en los equipos y tuberías impiden la correcta transferencia de calor, lo que provoca que la demanda de los fluidos frío y/o caliente sea mayor y puede provocar potenciales fallas en estos así como un aumento en los costos variables debido al mantenimiento, limpieza y uso de agentes anti incrustantes; dentro de las medidas que se han implementado para controlar esta variable están uso de sensores para detectar la incrustación temprana, el control de temperatura, dilución, reposición, Nitrógeno de blanqueo para los hornos, muestreo continuo del fluido de transferencia de calor

(e.g. agua, vapor, sintéticos, gases, sales fundidas), esto con la finalidad de poder tener un análisis químico completo para evaluar y determinar el grado de contaminación, su condición térmica de craqueo y el estado del sistema en general (Chris, 2016) y cambio por intercambiadores de mayor eficiencia como los de placas que a diferencia del convencional de tubos y coraza está conformado por un sistema de placas corrugadas estacadas haciendo que se formen canales, además maneja regímenes de flujo turbulentos lo que disminuye las incrustaciones de los fluidos en los canales de las placas.

- 2. Integración térmica:** También se le conoce como análisis Pinch y se refiere a la explotación de potencial de las distintas corrientes de proceso que intercambian energía e integrarlas en un sistema (United States Environmental Protection Agency, 2015), en los procesos que tienen diversas demandas de servicios de calentamiento y enfriamiento esta es una ventana de oportunidad excelente para mejorar la eficiencia energética, esta metodología se base en unir las corrientes frías y calientes para llegar a un óptimo termodinámico en el proceso a través de la recuperación del calor, este análisis se realiza mediante curvas compuestas de temperatura(gráfica T vs Q donde Q esta KJ/h) para las corrientes tanto frías como calientes de los intercambiadores que sean definidos dentro de la red de intercambio y el punto donde se tiene el menor acercamiento es el pinch incluso este método se ha extendido a recuperación de agua y recuperación de Hidrógeno.

- 3. Calentadores a fuego directo:** Cerca del 60 – 70% del combustible consumido en una refinería es el usado en los calentadores a fuego directo cuya eficiencia promedio considerando pérdidas de calor y condensaciones es de 75 - 90% (United States Environmental Protection Agency, 2015). El aumento en la eficiencia de estos equipos puede ser mejorando las características de los materiales para mejorar

transferencia de energía, aplicando modificaciones como controles para el flujo de aire y quemadores, precalentamiento del aire de combustión con los gases de combustión reduciendo la temperatura de estos últimos en la salida, luminosidad de la flama, indicadores de NO_x para reducir la emisión de estos en la chimenea y reemplazo de quemadores para de igual manera impactar en la reducción de emisiones de NO_x.

4. Mejoramiento de las unidades de Destilación: Como lo mencioné anteriormente el proceso de destilación es el mayor consumidor de energía dentro de la refinería ya que es el proceso más común para la separación de hidrocarburos; esto nos lleva a encontrar diversas áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia energética y algunas de estas son:

- **Optimización de procedimientos operativos:** Esto puede traer ahorros energéticos significativos. La eficiencia de una columna se determina a partir de las características de la alimentación (composición, densidad, condición térmica de alimentación) estas características con el paso del tiempo van cambiando debido al uso y a los cambios en la alimentación ya que no se mantiene constante como estaba en el diseño por lo que va a ser necesario hacer un ajuste en ciertas variables y parámetros de proceso para obtener el producto deseado con el menor consumo energético y de materia prima y es aquí donde se puede tener un ahorro significativo de energía, por ejemplo la razón de reflujo tiene que cambiar comparada con la de diseño para llegar a la pureza deseada de los productos así como el flujo de vapor que sube proveniente del rehervidor.
- **Cambio de los internos de las columnas:** Cuando los internos de una columna se encuentran dañados los costos operativos se elevan

ya que pierden eficiencia de separación, incrementan la caída de presión y que la columna opere a una mayor razón de reflujo, así que reemplazar los platos o secciones empacadas trae un beneficio grande en un periodo de retorno de la inversión corto; al realizar el reemplazo de los internos es bueno tomar en consideración unos que tengan mayor eficiencia y características de resistencia mecánica.

- **Reducción de la carga térmica del rehervidor:** Dentro de este proceso los rehervidores tienen una gran demanda de energía por lo que su optimización significa un buen aumento de la eficiencia energética de la planta y del complejo en general; una de estas alternativas es el uso de agua helada que en lo principal reduce la temperatura del condensador de domo, lo que de acuerdo a pruebas que se han hecho reduce en 5% la carga térmica del rehervidor (United States Environmental Protection Agency, 2015)

5. Cambio de motores eléctricos: Estos representan el 80% de la electricidad usada en la refinería, cuyas aplicaciones son motores de bombas, compresores y ventiladores, entre otras. Para tener una buena mejora en el aumento de la eficiencia lo que se tiene que hacer es considerar todo un sistema de motores para aplicar la mejora (United States Environmental Protection Agency, 2015); dentro de las acciones que se pueden llevar a cabo se pueden mencionar las siguientes:

- Evitar el funcionamiento de los motores en vacío.
- Balancear la tensión de alimentación de los motores trifásicos de corriente alterna.
- Mantenimiento de los motores y esto es con el propósito de prolongar el ciclo de vida de estos y prever posibles fallas.
- Reemplazo de motores de bajas RPM por motores de altas RPM, seleccionando correctamente el tipo de motor y considerando su

el costo del ciclo de vida ya que este representa un marco contable de referencia importante.

- Utilizar motores de inducción trifásicos en lugar de monofásicos.
- Corrección del factor de potencia mediante el uso de capacitores en las terminales del motor o minimizando el uso del motor en vacío.
- Instalación de variadores de velocidad para que la carga se ajuste a los requerimientos de operación del motor y de esta manera la energía del motor sea utilizada de forma eficiente.

6. Nuevas tecnologías: El fin de estas nuevas tecnologías es poder cambiar las tecnologías clásicas que se tienen desde hace tiempo en la industria de la refinación por algo nuevo dentro del mismo proceso que permita obtener mejoras en la eficiencia energética y en la producción, algunas de estas son las siguientes:

- **Desaladores:** Estos se pueden optimizar al utilizar desaladores multietapas con campos de corriente alterna o corriente directa lo que aumentaría la eficiencia y el menor uso de agua de lavado.
- **Plantas de gas saturado:** La construcción y puesta en marcha de plantas de gas saturado para procesar los ligeros saturados provenientes de las unidades de hidrocraqueo, reformado y destilación combinada y someterlo a un proceso de absorción para la remoción de ácidos y posteriormente a un tren de destilación para la recuperación de los ligeros saturados y poder venderlos como producto final, esto nos lleva a un ahorro del combustible así como energético y se ha aplicado en distintas refinerías como la de Salt Lake operada por Chevron.
- **Optimización de los quemadores:** El principal uso de los quemadores es por normatividad para evitar emisiones de gases contaminantes a la atmósfera así como de seguridad cuando hay un aumento de presión y se necesita desfogar, pero la mayoría

de las refinerías viejos sistemas de quemadores que están quemando gases continuamente lo que provoca una pérdida importante de estos, los nuevos sistemas de quemadores utilizan antorchas de ignición eléctricas con sensores de detección para que el quemador se active solo cuando sea necesario.

- **Hidrotratamientos alternativos:** Debido a la normatividad mundial para el ultrabajo contenido de azufre en los combustibles el proceso de hidrotratamiento adquiere una gran importancia y por lo tanto se han encontrado maneras de mejorarlo reduciendo el consumo de combustible, vapor y electricidad y mantener la producción y calidad de los productos, una de estas tecnologías desarrollado por CDTech ha sido instalada en la refinería operada por Shell y Saudi Aramco (Motiva Enterprises) en Port Arthur, Texas (United States Environmental Protection Agency, 2015) y esta consiste en una desulfuración oxidativa basada en la oxidación de los compuestos de azufre seguida de la extracción de los productos de reacción lo que da como resultado un menor consumo de Hidrógeno y menor pérdida de octano ya que el catalizador promueve la hidroisomerización de olefinas.

4 Propuesta de un procedimiento para la realización de diagnósticos energéticos en instalaciones de proceso de una refinería.

Con base en las áreas de oportunidad vistas por cada planta en el capítulo en anterior

4.2 Etapas para la implementación de un diagnóstico energético

Para la realización de un diagnóstico energético en cualquier industria lo que se busca conseguir es que este sea efectivo, es decir que se obtenga información de provecho para el beneficio de la instalación.

Para lograr este beneficio algunos de los puntos de mayor relevancia son que los directivos estén convencidos de querer cumplir los objetivos deseados para aplicar las recomendaciones que sean arrojadas tras el diagnóstico energético y que los operadores e ingenieros entiendan los beneficios que trae consigo y las oportunidades de mejora que pueden encontrarse al implementar un correcto programa de uso eficiente de la energía siguiendo en todo momento las bases establecidas por la norma ISO 50001 de la cual hablaré más adelante así como los lineamientos de un programa de alguna institución calificada.

4.2.1 Planeación

Un diagnóstico energético representa un proyecto y como en cualquier proyecto de ingeniería tiene que atravesar por distintas fases que comienzan con la identificación de área de oportunidad para mejorar el desempeño energético en el complejo, posterior viene la etapa estimación y definición de un alcance con el cliente dentro del cual se va a visualizar que sectores de la

instalación van a ser objeto del análisis, posterior a esto y para cada una de las plantas se tienen que definir bien los límites de batería y los equipos de proceso que se incluirán en el alcance, ya con esto definido se tienen que entregar las propuestas técnica y económica del proyecto dentro de las cuales se pondrá todo lo establecido con el cliente en relación al alcance, tiempo y plan de ejecución, fases del proyecto, herramientas a ser usadas para el desarrollo de este (simuladores, software de programación y cálculo, software de dibujo y algún otro programa necesario) y el monto requerido para la realización del proyecto, es importante definir en esta etapa el número y nombre de los entregables en un cronograma o diagrama de Gantt (Revisar anexo A).

Antes de las visitas a campo se tiene que verificar que el equipo de trabajo esté bien preparado y organizado para maximizar el aprovechamiento del tiempo y recurso mientras se desarrolle el diagnóstico energético; es importante mencionar que como parte de esta preparación se tienen que llevar a cabo levantamientos de información en el sitio del cliente para asegurar veracidad, completitud y últimas versiones o documentación as built de las plantas a analizar.

Entre la documentación que se debe conseguir se encuentra:

- Diagramas de flujo de proceso (DFP)
- Diagramas de tubería de instrumentación (DTI)
- Plano de localización general
- Hojas de datos de equipos.
- Sistema de control distribuido de la planta.
- Lógicas de control.
- Balances de materia y energía.
- Bases y criterios de diseño de los equipos de proceso y servicios auxiliares.
- Lista y hojas de datos de válvulas tanto automáticas como manuales.
- Manuales de operación y descripción del proceso del licenciador.

- Copias de diagnósticos energéticos realizados con anterioridad.
- Contrato con PEMEX Transformación Industrial y autorización del director de la refinería para realización de la actividad
- Información general sobre la planta de proceso como tamaño, productos principales, secundarios y consumos energéticos anuales
- Consumo de combustible y electricidad así como las tarifas aplicadas respectivamente y la relación costo de la energía por producto terminado
- Contar con datos históricos globales de la energía primaria consumida de cada línea de producción
- Contar con datos históricos de consumo energético de los principales servicio auxiliares

Al término de la recopilación y posterior revisión de estos documentos debe llevar a cabo una visita preliminar a las planta con una perspectiva energética para observar las instalaciones, procesos y rutinas de operación así como el estado de las instalaciones, posteriormente se debe realizar la formación de un plan de trabajo para la ejecución del diagnóstico.

4.2.2 Prediagnóstico

Es un antecesor del diagnóstico como tal y se realiza una vez que se tengan preparados los recursos tanto humanos como materiales y la información con la que se va a trabajar, en esta etapa del diagnóstico se realizan las siguientes actividades descritas a continuación.

4.2.2.1 Cuestionario para la solicitud de información

Para realizar esta etapa se tiene que tener una reunión con el “comité de energía” de la refinería (es decir el grupo de personas encargado de la ejecución de los programas de ahorro energético), jefe de sector, ingeniero

supervisor de la respectiva planta y al menos un ingeniero de proceso de la refinería, en esta reunión de inicio se debe entregar para su llenado un cuestionario básico de solicitud de información como el de la figura 14 que debe contener los siguientes puntos.

Cuestionario general para obtención de información en un diagnóstico energético	
Sector:	
Subsector	
Empresa	
Planta	
Dirección	
Ciudad, estado	
Teléfonos	
Fax	
E-mail	
Responsable de los datos	
Puesto	
Horas de operación semanal	
Horas de operación anuales	
Fecha	

1 Datos principales de la planta

Altura sobre nivel del mar (metros)		
Temperatura máxima y promedio anual °C		
Humedad relativa máxima y media anual %		

1.1 Capacidad instalada

Nombre de la planta	Nombre del producto principal	Composición	Unidad (mol/h, Kg/h, m ³ /h, Ton/h)

Nombre de la planta	Nombre de los productos secundarios	Composición	Unidad (mol/h, Kg/h, m ³ /h, Ton/h)

1.2 Producción mensual actual (últimos 12 meses)

Unidades						
Producto	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Total
Enero						
Febrero						
Marzo						
Abril						
Mayo						
Junio						
Julio						
Agosto						
Septiembre						
Octubre						
Noviembre						
Diciembre						
Totales						

1.3 Combustibles (Procesos y servicios Auxiliares)

	Gas LP	Diesel	Combustóleo	Gas Natural	Carbón	Otro
Método de suministro						
Tanque de almacenamiento (m ³ o Kg)						
Contrato con						
Condiciones de suministro						
Capacidad máxima contratada						
Consumo anual						

Figura 14. Cuestionario básico de recopilación de información. Tomado del curso de diagnósticos energéticos FI UNAM.

Como se puede observar en el cuestionario la información que se solicita tiene que ser de los últimos 12 meses de operación de la planta en los rubros de producción y tiempo de operación, el propósito de este cuestionario es determinar los sistemas donde se deberán verificar las eficiencias de los equipos, ubicar las oportunidades de ahorro y desperdicios de energía y las

áreas y porcentaje de uso de energía en las plantas de fuerza y proceso, dentro de una una refinería donde se pueden determinar y generar las oportunidades de ahorro más comunes son:

- Turbogeneradores
- Intercambiadores de calor (Condensadores y Rehervidores)
- Calderas
- Calderetas
- Reactores
- Bombas
- Hornos o calentadores a fuego directo
- Turbinas
- Columnas de absorción y destilación
- Compresores

A partir de esto se tienen que establecer puntos y sistemas donde se efectuarán las mediciones para la medición y el monitoreo, como ya se comentó anteriormente dentro de la información que se tiene que recopilar previa al diagnóstico se tienen que incluir diagramas de flujo de proceso de los sectores de la refinería que van a ser objeto de estudio; una herramienta útil que se puede elaborar con base en la información que se obtuvo en los levantamientos previos es elaborar diagramas de bloques de la planta como el que se muestra en la figura 15 en el que se separen la parte de proceso y la de servicios auxiliares para determinar una eficiencia aproximada de la planta en cuestión.

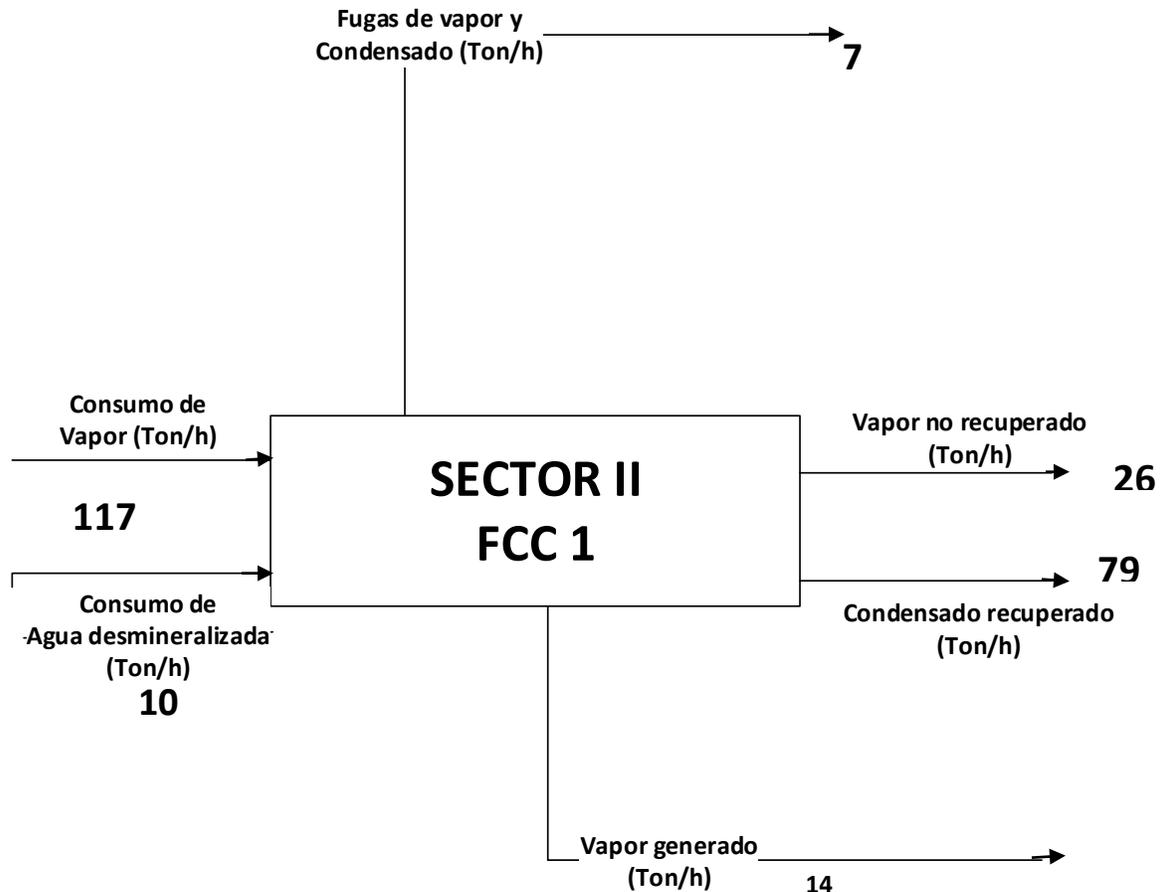


Figura 15. Diagrama de recuperación de vapor y condensados de la planta FCC 1 en la refinería Ing. Antonio Dovalí Jaime en Salina Cruz. Oax.

4.2.2.2 Plan de trabajo

El resultado de la revisión y evaluación de toda la información solicitada y recabada debe conducir a un plan factible de trabajo para la realización del diagnóstico, este debe incluir.

- Objetivo y alcance del diagnóstico.
- Tiempo en que se realizará la visita y ajuste del cronograma en caso de ser necesario.
- Listado de las plantas que serán objeto de estudio y dentro de estas se debe considerar los sistemas y equipos que se van a evaluar.

- Equipo, instrumentos y herramientas requeridos para realizar el estudio en campo.
- Estimado de costo del diagnóstico y programa de flujo de efectivo detallado para cada planta objeto de estudio.

4.2.3 Recopilación de datos

El objetivo del trabajo de campo es obtener datos e información operacional de todos los equipos de proceso y servicios de la planta para que en la siguiente fase se pueda realizar una identificación de los mayores consumidores de energía en la planta; anterior a la visita a campo se tienen que fijar los puntos donde se van a realizar las mediciones, como criterio heurístico para la toma de muestras se recomienda que mínimo se hagan 3 mediciones por punto de medición, si estas son semejantes la medición es correcta en caso contrario se deben continuar realizando hasta tener una tercia de medidas iguales al menos, esto es solo una recomendación ya que el encargado del diagnóstico puede determinar el número de mediciones que le parezca pertinente. Para las mediciones en equipos como columnas, reactores, hornos y otros equipos donde las mediciones se tengan que realizar en el domo o chimeneas se tiene que tener en cuenta el clima de los días en los que se realizará el trabajo (vientos, humedad, presión) y estar acompañados al menos por un miembro del equipo operativo de la planta.

Los formatos donde se tienen que registrar los datos conseguidos en las mediciones de cada equipo tienen que llevar al menos los siguientes datos, estos datos cambiarán para cada equipo ya que el que muestro como ejemplo es para una caldera pero si lo que pretende es tomar mediciones de un reactor de reformación o de una columna de redestilación ácida para una planta de alquilación, pero el formato es adaptable para cada equipo de las distintas plantas de una instalación.

Empresa	
Planta	
Área	
Sistema	
Clave	

Datos de diseño

Tipo de caldera	
Marca - Modelo	
Material de construcción	
Espesor de pared	
Tipo de aislante/espesor	
Material de internos	
Máximo esfuerzo permitido	
Temperatura de vapor (°C)	
Presión nominal de vapor	
Flujo másico nominal (Kg/h)	
Tipo de combustible	
Carga térmica / servicio del equipo (KJ/h)	

Combustible (media horaria de datos mensuales)

Tipo		
Consumo horario		
Densidad		
Temperatura (°C)		
Poder calorífica superior		

Agua de proceso/enfriamiento

Flujo másico (Ton/h)	
Temperatura (°C)	
Presión manométrica (Kg/cm ²)	

Gases de combustión (mediciones en chimenea)

Temperatura de gases (°C)	
% oxígeno	
% de bióxido de carbono	
Exceso de aire	

Purga continua

Flujo másico (Kg/h)	
Presión man (Kg/cm ²)	
Temperatura (°C)	

Dimensiones

	Largo	Ancho	Alto	Temp. Externa (°C)
Pared frontal				
Paredes laterales				
Pared posterior				
Domo				
Base				
Diámetro				
Longitud				

Figura 16. Formato para captura de datos de medición en calderas. Tomado del curso de diagnósticos energéticos

En el caso de equipos de proceso como torres de destilación se tienen que tomar en cuenta la condición térmica de alimentación, flujos de alimentación, de domo, fondos y laterales en caso de tener cortes intermedios así como sus respectivas composiciones y condiciones de proceso; para el caso de reactores catalíticos se tiene que considerar masa o volumen de catalizador, tipo de reactor y tiempo de residencia.

4.2.4 Propuesta de mejora

Posterior al levantamiento en sitio y con la información registrada en los formatos correspondientes que se mencionaron anteriormente se tiene que proceder al desglose e interpretación de los datos para obtener resultados útiles y precisos para su posterior aplicación en lo que sería la propuesta que se emitirá para el cliente.

Para la etapa de análisis se pueden utilizar distintas herramientas de software como lo son el uso de simuladores de proceso como ASPEN Plus que

mediante la construcción de un modelo de simulación y con su herramienta ASPEN Energy Analyzer nos permite calcular eficiencias de equipo, pérdidas de energía y el costo de estas pérdidas o Unisim Design cuyas últimas versiones tiene un paquete especial para la optimización del sistema de quemadores elevados y un módulo para realizar integraciones energéticas sobre todos los intercambiadores de calor, se pueden utilizar otros simuladores como lo son Pro II, Unisim Design y ChemCad que incluyen para todos los equipos que tienen disponibles las pérdidas energéticas de cada uno de ellos; de la misma forma se pueden obtener todos los datos de temperaturas de las corrientes donde hay intercambio de calor y con estos generar las curvas compuestas de temperatura para realizar un análisis de temperatura. El programa ICE (Índice de Consumo de Energía) es otra herramienta basada en una MACRO para determinar el desempeño energético de una planta de proceso o de servicios auxiliares y que considera incluso el consumo de energía eléctrica ya que a diferencia de los simuladores solo consideran la parte del proceso, el software Plant Energy Profiler/Integrated Tool Suite (PEP) es un software en línea que provee el departamento de energía de E.U. y que ayuda a identificar como la energía es comprada y usada en la planta y también identificar el potencial de energía óptimo y el ahorro en costos o el Industrial Assessment Center que ayuda a evaluar a las plantas de producción para identificar oportunidades de ahorro de energía y dinero tomando como prioridad en sistemas de energía intensivos como son de calentamiento, vapor, bombas, ventiladores y compresores.

El correcto análisis y tratamiento de toda la información recabada debe permitir tener identificadas las oportunidades para ahorro de energía y aumento de eficiencia, principalmente en los sistemas y equipos, que en el plan de trabajo se habían detectado como oportunidades.

Con el uso de las herramientas antes mencionadas se tienen que obtener resultados confiables y sólidos que dependiendo del tipo de diagnóstico

ayudarán a definir y generar la propuesta de mejora para el uso eficiente de la energía así como el análisis de factibilidad y retorno de la inversión para implementarlas en el complejo.

El documento de propuesta es la pieza clave del diagnóstico energético ya que en este se enuncian todas las recomendaciones derivadas del análisis de información detalladamente con su respectivo análisis económico y la factibilidad de cada una para determinar las inversiones de capital y el ahorro económico que se obtendrá con la aplicación de las recomendaciones, dicho entregable es el aporte técnico principal del proyecto que se le hará al cliente.

Es necesario hacer especial énfasis en que uno de los objetivos principales del presente documento es implementarlo en instalaciones de refinación de crudo en México y es realmente importante comunicarle a PEMEX que las recomendaciones que surjan del análisis energético se deben de seguir completamente si lo que se quiere es incrementar la eficiencia de operación del sitio, ya que de no hacer esto continuará la cadena de solo aplicar ciertas recomendaciones y las otras archivarlas como ha sucedido en distintas ocasiones al momento de querer implementar mejoras en las plantas de proceso.

Teniendo esta información se van a poder utilizar índices energéticos que van a servir para la comparación con plantas equivalentes de otras refinerías.

4.2.5 Informe final

Al término del diagnóstico energético se deberá contara con un informe que proporcione mínimo la siguiente información (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía , 2011), la adición de puntos adicionales en dicho reporte quedará sujeta a lo que sea establecido dentro del alcance.

Potencial de Ahorro

- Incluir el potencial de ahorro de energía de la instalación, separado por sistema: térmico y eléctrico. El potencial de ahorro de energía debe de considerar la operación de la planta como: Paros programados, paros no programados, producción, mantenimiento, catalizadores, etc.

Eficiencia de equipo

- Incluir en una tabla, el equipo consumidor de energía. Incluyendo la eficiencia de diseño y la de operación.

Medidas de ahorro

- Describir por equipo cada medida de ahorro de energía, incluyendo:
Descripción breve de la medida o Ahorro energético
Eficiencia posterior del equipo
Inversión
TREMA
Beneficio costo
Valor presente neto
Tasa Interno de retorno
Tiempo de recuperación

Plan de trabajo y plan de acción

- Estrategia de implementación de medidas

Aquí es importante mencionar que se deben considerar todas las oportunidades de ahorro energético detectadas, que no puedan afectar negativamente la producción y sean significativas (ahorros mayores al 2% en

todos los procesos) sin limitarlas por ningún otro aspecto, técnico o económico.

A continuación se muestran dos diagramas, el primero es uno general de las actividades que se tienen que realizar para un diagnóstico energético, mientras que el segundo es el diagrama de flujo que se tiene que seguir en forma para realizar un diagnóstico de energía térmica en una instalación (1ro, 2do y 3er nivel) hasta llegar a la implementación de un sistema de gestión de la energía.

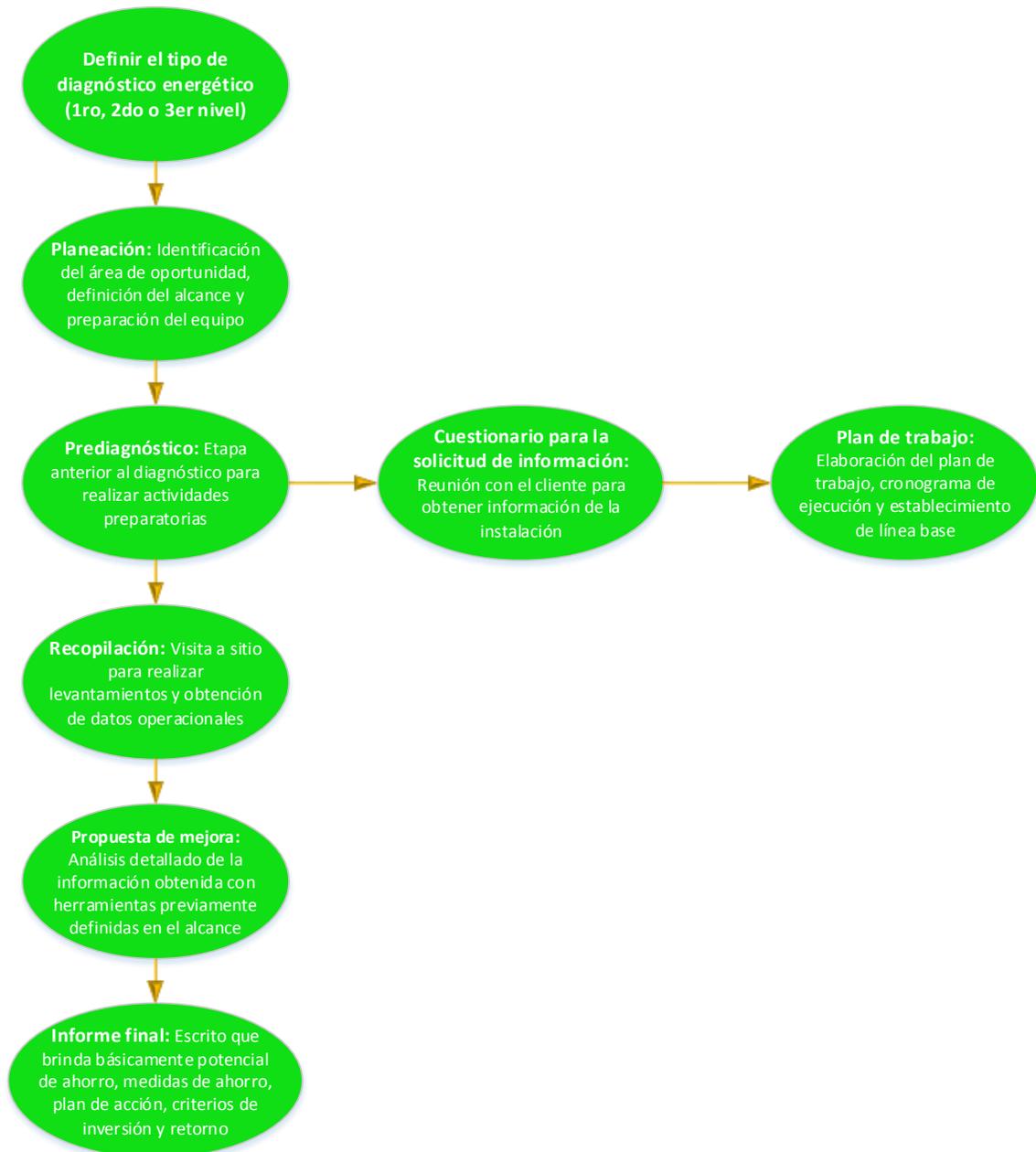
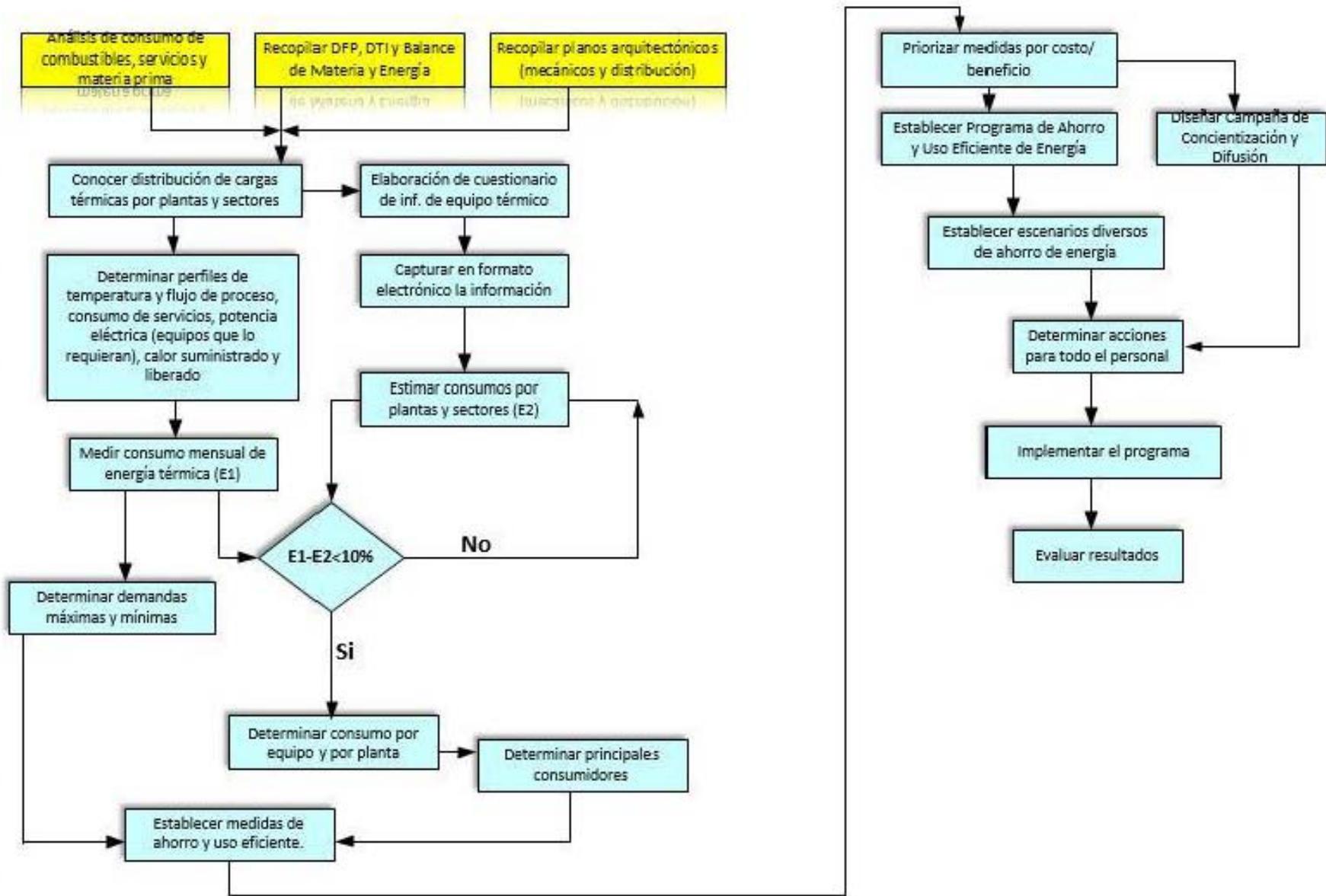


Figura 17. Diagrama de flujo para la implementación de diagnósticos energéticos en instalaciones petroleras

METODOLOGÍA EMPLEADA PARA REALIZAR UN DIAGNÓSTICO DE ENERGÍA TÉRMICA



4.2.6 Índices energéticos en la industria de la refinación

En todas las instalaciones de los organismos subsidiarios de PEMEX es común que se tenga una base de datos de años y meses anteriores conocidos como históricos compuestos por las cifras de producción y consumo de todos los sectores, consumos energético, costos y disponibilidad de operación; para poder interpretar estos datos y tener un punto de comparación al momento de medir el desempeño operativo de una instalación y compararlo con otras se tienen índices o indicadores de consumo de energía y eficiencia energética como herramientas de análisis de toma de decisiones para conocer la situación real en la que se encuentra la instalación.

Como lo mencioné en el segundo capítulo los indicadores de gestión de la energía se dividen en 2 grupos de consumo total y consumo específico.

Aunque algunos indicadores de estos dos grupos son usados con mayor frecuencia que otros para la implementación de un buen sistema de gestión de la energía es necesario del uso simultáneo de varios de estos.

Para comprender mejor los indicadores se definen brevemente algunos conceptos que serán de ayuda para su comprensión.

- Consumo real de energía de una instalación: Se refiere a toda la cantidad consumida en la instalación, se suele medir en GJ o BTU (Perea Gaitan & Botello Martínez, 2013).
- Parámetros de actividad: Son parámetros característicos de un sector productivo que relaciona los bienes producidos con la energía real consumida empleada por los equipos involucrados en el proceso (Perea Gaitan & Botello Martínez, 2013).

- Consumo específico: Para cada equipo o planta caracterizada con un parámetro de actividad único se puede calcular este consumo que es el cociente entre el consumo real de energía y cada unidad de actividad, sus unidades pueden ser GJ/Ton o kWh/L (Perea Gaitan & Botello Martínez, 2013).

Para todos los sectores de producción y exploración de hidrocarburos existen indicadores de desempeño energético en el presente caso de estudio que está enfocado a la refinación y concretamente al SNR se cuenta con distintos índices de carácter universal para medir los parámetros arriba mencionados y estos son:

- Índice complejidad de Nelson
- Índice de consumo y mermas
- Índice de intensidad energético (IIE -Solommon)

El primero divide a una refinería en sus unidades principales de proceso y a cada una de ellas se le asigna un factor de complejidad dándole el factor a 1 a la unidad de destilación atmosférica y con base en esta a las otras unidades les asigno otros factores, en el contexto del presente documento este índice toma relevancia ya que tiene relación con el consumo energético de la refinería y es que mediante este nexo se pueden hacer estudios comparativos de los consumos de energía para refinerías de una complejidad equivalente y con esto medir poder medir el éxito de programas de gestión de energía o cambio de tecnologías, como ejemplo se anexa la siguiente gráfica que muestra dicha relación de índices con el uso de combustibles y la complejidad de la refinería (Perea Gaitan & Botello Martínez, 2013).

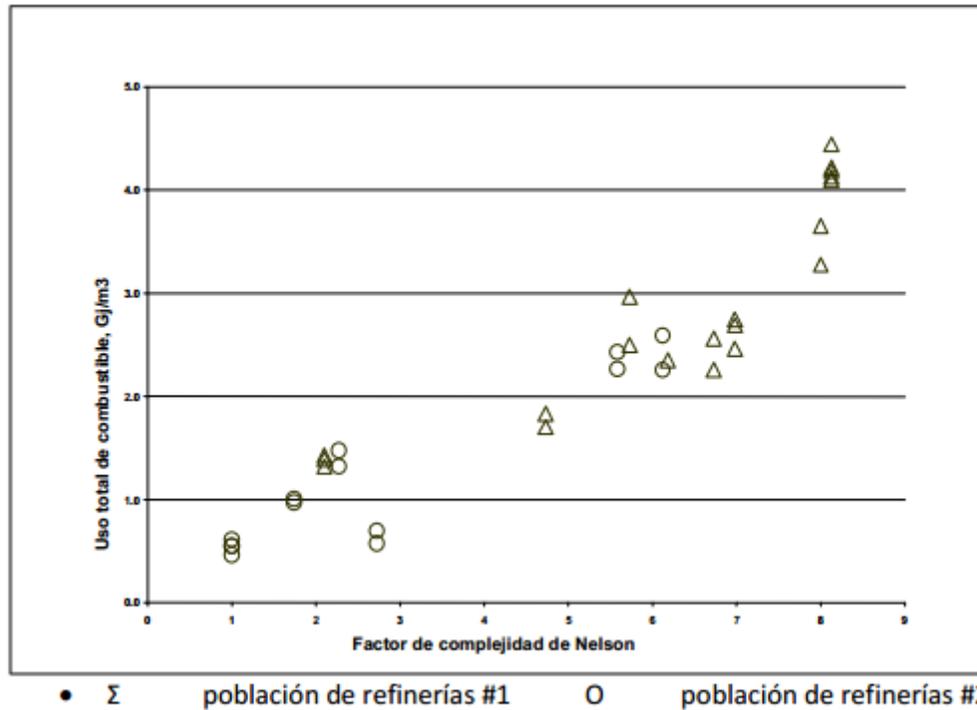


Figura 18. Uso de combustibles en refineries en función de su complejidad. Fuente (Perea Gaitan & Botello Martínez, 2013)

El segundo es un indicador de consumos específicos en una refinaria y se define como:

$$\text{Índice de } C + M = \frac{\text{Ton Consumos} + \text{Ton Mermas}}{\text{Ton(Métricas)}}$$

Sirve para calcular los consumos reales de una instalación con los datos de un mismo año y los consumos teóricos con las mermas y consumos del año anterior y las materias procesadas del año en curso (Perea Gaitan & Botello Martínez, 2013).

Como aclaración los consumos de una refinaria corresponden a varios de tipos de combustibles o vectores (combustóleo, propano, LNG) y su valor energético se establece mediante su Poder Calorífico Inferior el cual comúnmente se expresa en GJ y para obtener el consumo total basta con sumar todos los vectores existentes mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Consumo Energía} = \text{Combustóleo} + \text{Gas Natural} + \text{Vapor} + \text{Electricidad}$$

Las mermas son pérdidas de energéticos debido a la existencia de fugas, drenes, venteos y quemadores, estas se determinan por balance de materia mediante la siguiente ecuación (Perea Gaitan & Botello Martínez, 2013).

$$\text{Mermas} = \text{Materia Prima Procesada} - \text{Consumo Hidrocarburos} - \text{Productos}$$

El tercero (IIE) como mencioné en la introducción fue desarrollador por la compañía Solomon Associates y en este se analizan todos los aspectos necesarios para operar una refinería y representa el consumo total de energía frente a una referencia o estándar de las mismas dimensiones y características, su cálculo simplificado es (por razones de derechos de privacidad el método de cálculo exacto no se puede consultar).

$$EII = \frac{\text{Consumo real de unidades}}{\text{Consumo estándar Solomon}} * 100$$

Ya que mencioné brevemente lo que evalúa este índice es necesario ahondar en el desempeño de las refinerías de México con respecto a este indicador y la importancia que tiene para PEMEX. El valor estándar para una refinería de acuerdo a este índice es de 100 por lo que un puntaje superior indica que se deben intensificar los esfuerzos del programa de gestión de energía, para el caso del SNR se tiene que mencionar que presenta valores altos, esto se puede ver en la siguiente tabla de PEMEX Transformación Industrial en la que se muestran distintos indicadores de desempeño del SNR y entre estos se encuentra el IIE en un periodo que comprende del 2008 al 2012 y se puede observar que la disminución en dicho periodo ha sido de décimas mientras que el Benchmarking nos indica que la media internacional se encuentra más de 40 puntos por debajo de las refinerías mexicanas (Consejo de administración de PEMEX refinación, 2012) esto nos sigue indicando que la necesidad de implementar un sistema de gestión de la energía es imprescindible.

Pemex-Refinación: indicadores de desempeño, 2008-2012

Indicador	Unidad	2008	2009	2010	2011	POA 2012	Real 2012	Meta 2013	Benchmark
1 Margen variable de refinación	Dis/b	2.3	1.6	-0.2	-0.09	-0.83	0.01	-0.88	
2 Proceso de crudo	Mbd	1,261.0	1,294.9	1,184.1	1,166.7	1,331.3	1,199.3	1,264.8	
3 Proceso de crudo pesado ^{b/}	%	43.8	39.8	37.3	37.3	44.5	41.9	42.5	
4 Utilización de la capacidad equivalente de destilación ^{d/}	%	76.9	nd	70.9	67.9	75.3	68.7	75.3 ^{ei/}	79.4 ^{ei/}
5 Rendimiento de gasolinas y destilados intermedios del crudo	%	66.9	65.5	63.0	61.6	69.1	64.4	67.1	72.7 ^{ei/}
6 Índice de intensidad energética ^{d/}	Índice	136.5	nd	138.8	138.3	126.0	136.5	130 ^{ei/}	94.5 ^{ei/}
7 Índice de disponibilidad operacional en refinerías ^{d/}	%	90.3	nd	92.2	92.7	91.0	90.9	91.0 ^{ei/}	
8 Participación de las importaciones en las ventas internas de gasolina	%	43.0	41.6	47.2	50.7	40.8	49.1	42.5	
9 Participación de las importaciones en las ventas internas de diesel	%	17.8	13.3	29.1	35.4	13.7	33.2	27.1	
10 Costo total de transporte ^{d/}	\$/ton-km	0.1594	0.1592	0.1695	0.1673	0.178	0.1836	0.1927 ^{ei/}	
11 Días de autonomía de Pemex Magna en terminales	Días	2.9	2.0	2.4	2.2	2.2	2.5	2.2 ^{ei/}	
12 Días de autonomía de Pemex Premium en terminales	Días	8.4	7.6	7.8	6.3	4.7	3.7	4.7 ^{ei/}	
13 Días de autonomía de diesel en terminales	Días	3.8	3.1	2.5	2.4	3.0	2.4	3.0 ^{ei/}	
14 Emisiones de SOx / 1000 ton proceso	Ton/Mton	4.5	4.2	3.8	4.2	4.0	3.7	4.0 ^{ei/}	
15 Índice de frecuencia de accidentes	Índice	0.24	0.32	0.66	0.76	0.3	0.76	0.3 ^{ei/}	0.5 ^{ei/}
16 Productividad laboral en refinerías ^{d/}	PE/100KE	235.7	nd	240.0	202.8	221.1	195.3	202.8 ^{ei/}	

a/ En revisión.

b/ Incluye el crudo maya, otros pesados y el despuntado maya.

c/ Fuente: Estudio bianual Solomon, para 2008-2010 y en el caso de 2011-2012 los valores son calculados por las refinerías para seguimiento mensual, no oficial.

d/ A pesos corrientes. No incluye siniestros, jubilaciones, demoras marítimas y residencias de operaciones portuarias; incluye autoconsumos.

ei/ Solomon 2010. CNGM.

Figura 19. Principales resultados operativos de PEMEX refinación

Si bien PEMEX ha implementado distintas medidas para reducir el consumo de energía en las refinerías y estas mostraron buenos resultados se tienen que intensificar, como ejemplo de esto se puede mencionar para el 2012 se tuvo una disminución de 1.8 puntos con respecto al 2011 pero mayor en 6.5 puntos en comparación con la meta y esto se debió a las siguientes acciones:

- Estabilización de las plantas nuevas de la reconfiguración de Minatitlán
- Paros no programados en el SNR
- Problemas de confiabilidad operativa en las áreas de fuerza y servicios principales
- Baja eficiencia en calentadores, calderas y turbogeneradores por antigüedad del equipo

A continuación se muestra una gráfica comparativa de las refinerías de PEMEX en el 2006 con otras en el mundo con respecto al IIE, lo que nos vuelve a mostrar lo antes mencionado y pone a las refinerías de PEMEX como no eficientes a nivel mundial y es que a pesar de ser un análisis de hace varios

años y acuerdo con la tabla arriba mostrada se ve que la situación energética no ha mejorado mucho.

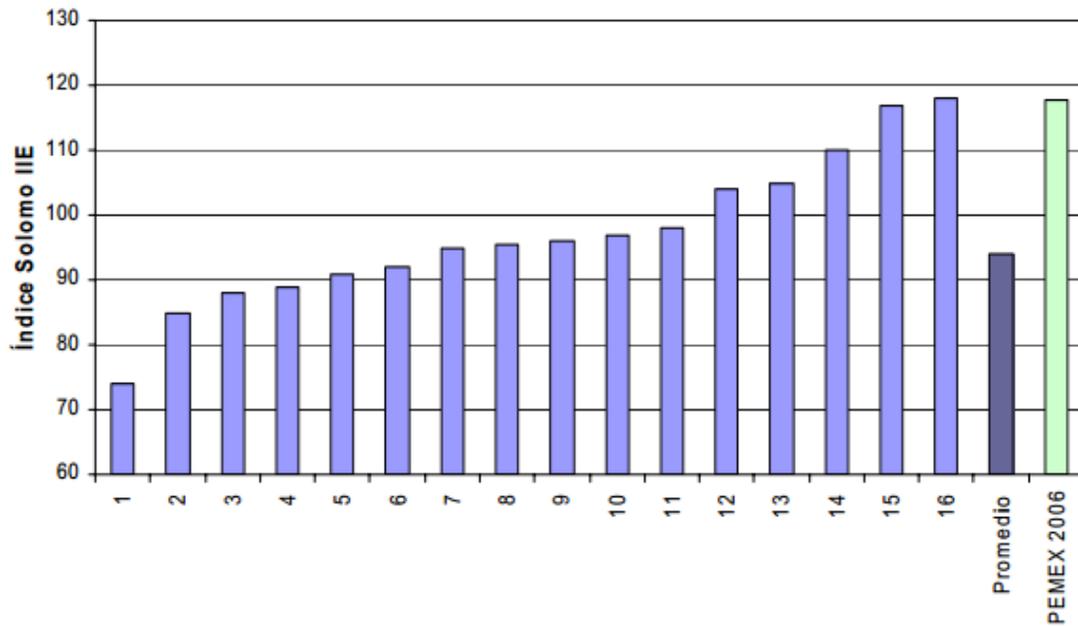


Figura 20. Comparación del índice de Intensidad Energética en el año 2006 de distintas refinерías con una capacidad parecida respecto al SNR.

En la siguiente gráfica se puede apreciar una comparación del EII en 2015 de las seis refinерías en México y una referencia internacional promedio de refinерías similares.

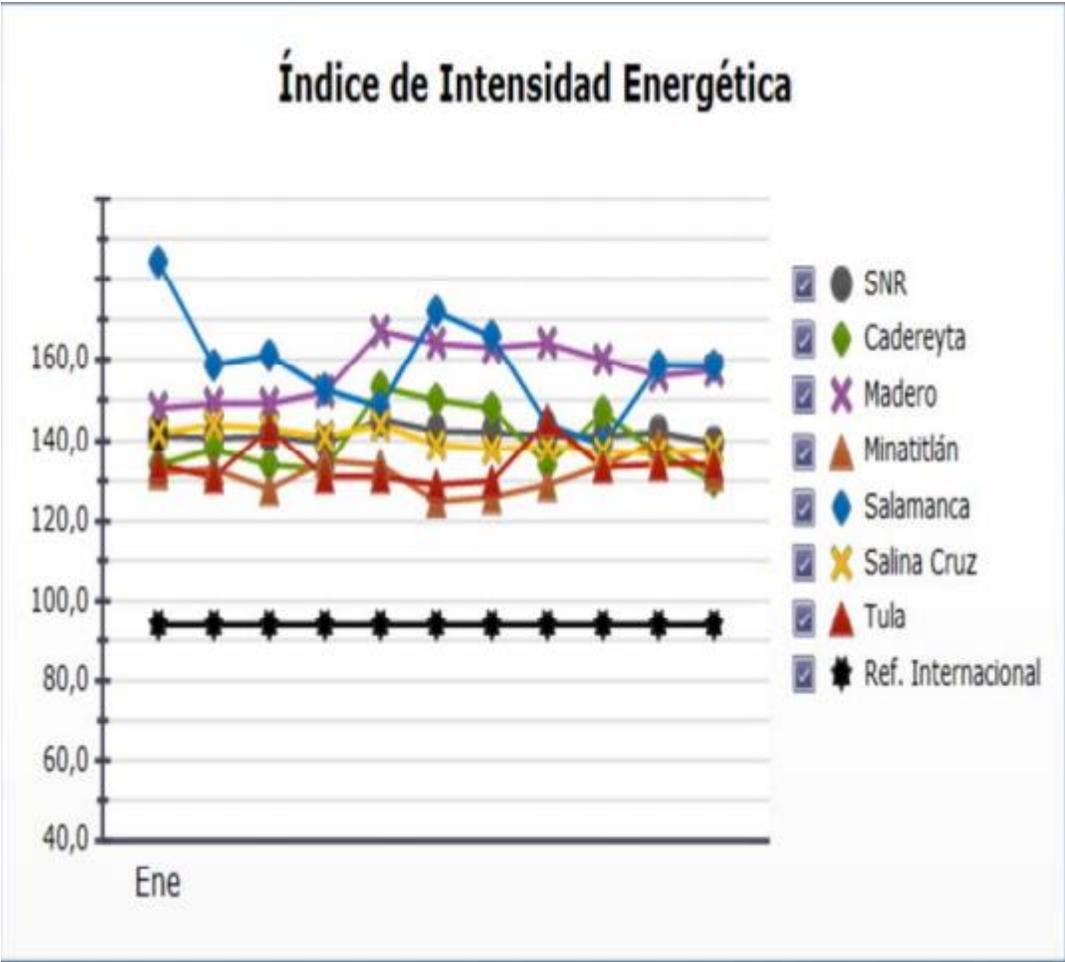


Figura 21. Comparación del Índice de Intensidad Energética en las seis refinерías del SNR durante el año 2015. Fuente PEMEX Refinación.

Como se puede apreciar la ineficiencia en los procesos es alta teniendo máximos y mínimos sin poder alcanzar una estabilidad de estos valores a lo largo del año, es importante que todos es comentarios queden bien identificados ya que este documento representará la base de la cual se va a partir para llevar a cabo las adecuaciones o mejoras a las instalaciones.

4.2.7 Establecimiento de un plan de ahorro y uso eficiente de energía.

Tabla 10. Requerimientos de la ISO 50001 para SGenE. Fuente (Michel de Laire, AChEE , 2013)

Requisitos generales	Requisitos generales
	Responsabilidad de la gerencia
	Alta gerencia
	Representante de la gerencia
Planificar	Política energética
	Planificación energética
	Generalidades
	Requisitos legales y otros requisitos
	Revisión energética
	Línea base energética
Hacer	Indicadores de desempeño energético
	Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción de gestión
	Implementación y operación
	Generalidades
	Competencia, formación y toma de conciencia
	Comunicación
	Documentación
	Control operacional
Diseño	
Adquisición de servicios, productos y equipos de energía	

Verificar	Verificación
	Seguimiento, medición y análisis
	Evaluación de cumplimiento con los requisitos legales y otros requisitos
	Auditoría interna del SGE
	No conformidades, corrección, acción correctiva y preventiva
	Control de registros
Actuar	Revisión por la gerencia
	Generalidades
	Información de entrada para la revisión por la gerencia
	Resultado de la revisión por la gerencia

Los puntos marcados con amarillo muestran los requisitos medulares; como se puede ver en la tabla muchos de los puntos que integran estas cuatro acciones forman parte de un diagnóstico energético.

A pesar de que todos los requisitos medulares son de gran importancia uno de vital importancia y con el que se debe contar y que esta misma norma señala es una línea base energética, esta representa el comportamiento energético actual de la compañía y sirve como referencia ya que mostrará las brechas y oportunidades que se pueden corregir así como los retrocesos en cuanto a eficiencia energética, esta línea base es la representación del escenario más probable que hubiese ocurrido en ausencia de la implementación del SGenE en la organización (Michel de Laire, AChEE , 2013) y esto permitirá realizar una comparación en un determinado periodo de tiempo y representa una gran ayuda al momento de realizar el diagnóstico energético ya que es uno de los documentos que se piden en la recolección de información.

5 Conclusiones

Se realizó una planeación, evaluación y revisión de una metodología cuya finalidad es el correcto uso y aplicación del diagnóstico energético (primero, segundo o tercer nivel) completo y que como consecuencia de este lleve a la implementación de un sistema de gestión de la energía dentro de la industria de la refinación en México.

A pesar de encontrarse como una gran empresa petrolera PEMEX no posee una buena capacidad de refinación y sus refinerías se encuentran por debajo de una operación eficiente en el contexto mundial y por estas razones es que se recurre a una importación tan grande de combustibles y productos refinados, sin embargo esto no quiere decir que los centros de refinación se den por perdidos sino por el contrario generan una gran ventana de oportunidad para levantarlos tanto en el aspecto tecnológico (revamps) como en el aspecto operativo e ir generando recursos altamente capacitados en las áreas de proceso y operación, además se sabe que la empresa tiene una política de Gestión de la Energía en cooperación con la Agencia Danesa de Energía que ya implementó de forma piloto en dos plantas pilotos de las refinerías Minatitlán y Tula en 2016 siguiendo los criterios de la norma ISO 50001 (PEMEX , 2016) por lo que con esta base y con la presente metodología de desarrollo del diagnóstico energético aplicada de la forma correcta se podrá dar un seguimiento y aplicación total del sistema de gestión de la energía que tiene PEMEX.

Es de gran importancia aclarar que esta guía tiene que ser actualizada constantemente para ajustarse a las necesidades del proyecto y la refinería en la que se esté trabajando.

6 Referencias

- (UPIIA), U. d. (2009). *Sistemas de recuperación y tratamiento de condensados en la refinería de Ing. Antonio Dovalí Jaime*. México D.F.: UPIIA.
- Canadian Petroleum Products Institute. (2016). *Energy Consumption Benchmark Guide*. Ottawa: Canadian Industry Program for Energy Conservation.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2011). *Termodinámica*. New York: McGrawHill.
- Chris, W. (2016). Sample heat transfer fluids to offset carbon effects on the thermal plant efficiency. *Hydrocarbon Processing*, 77-79.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2011). *Guía para la elaboración de diagnósticos energéticos en instalaciones*. México D.F.: SENER.
- CONACYT. (15 de Enero de 2014). *gob.mx*. Obtenido de <http://www.conacyt.mx/index.php/fondos-sectoriales-constituidos2/item/conacyt-sener-hidrocarburos>
- Consejo de administración de PEMEX refinación. (2012). *Informe General de PEMEX refinación ejercicio 2012*. México, D.F.: PEMEX refinación.
- CONUEE. (2010). *Curso básico para el ahorro de energía eléctrica*. Watergymex.org.
- CONUEE. (2014). *Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía*. México, D.F.: CONUEE.
- CONUEE. (11 de Noviembre de 2015). Obtenido de Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas>
- CONUEE. (17 de Mayo de 2017). *gob.mx*. Obtenido de <https://www.gob.mx/conuee>
- Energy Union. (17 de September de 2014). *DG Energy (ENER)*. Obtenido de <https://ec.europa.eu/energy/>
- Eric, R. H. (2013). *Proceso de identificación de oportunidades para el ahorro de energía en sistemas cogeneración*. México, D.F.: UNAM.
- ExxonMobil. (2017). *Corporate Citizenship Report 2016*. Irving, Texas : ExxonMobil.
- Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica. (25 de Abril de 2014). *FIDE*. Obtenido de <http://www.fide.org.mx/>
- Fideicomiso para el Ahorro de la Energía Eléctrica. (22 de Abril de 2017). *fide*. Obtenido de <http://www.fide.org.mx/>
- International Energy Agency. (14 de Octubre de 2016). *iea*. Obtenido de <http://www.iea.org>
- International Organization for Standardization. (2011). *Gana el desafío de la energía con ISO 50001*. Ginebra, Suiza: Secretaria Central de ISO.

- IPIECA. (2013). *Saving Energy in the Oil and Gas Industry*. London, United Kindom: The global oil and gas industry association for environmental and social issues.
- Journal, T. O. (2015). *List of oil refineries* . Houston, Texas. USA: PennWell Corporation.
- Mercado, G. J. (2012). *Sustainability Indicator for Chemical Processes*. Cincinnati, Ohio: ACS Publications .
- Michel de Laire, AChEE . (2013). *Guía de Implementación de Sistema de Gestión de la Energía Basada en ISO 50001*. Santiago, Chile : Agencia Chilena de Eficiencia Energética .
- PEMEX . (2016). Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía. Ciudad de México , México D.F., México .
- PEMEX. (2017). *Anuario Estadístico PEMEX 2016*. México, D.F.: PEMEX.
- PEMEX REFINACIÓN. (2014). *Manual de Organización de Refinería* . Ciudad de México: Subdirección de Producción.
- Perea Gaitan, J. M., & Botello Martínez, I. (2013). *Guía ARPEL índices de energía en la industria de petróleo y gas*. Asociación Regional de Empresas del sector petróleo, gas y biocombustibles en latinoamérica y el caribe.
- Presidencia de la República. (2013). *Reforma Energética* . México, D.F.
- Presidencia de la República. (2014). *Explicación ampliada de la reforma energética*. México, D.F.
- Processing, H. (2008). *Refining Processes Handbook*. Houston, Texas. USA: Gulf Publishing Company.
- Prossiter, A. P. (2015). *Energy Management and Efficiency for the Process Industries*. New Jersey : AIChE.
- Refinación, P. (2015). México, D.F.: PEMEX Refinación.
- Royal Dutch Shell. (2017). *Sustainability Report 2016*. Londres, Reino Unida: Carbon neutral print production.
- Sadeghbeigi, R. (2012). *Fluid Catalytic Cracking Handbook*. Massachusetts, USA: ELSEVIER.
- Secretaria de Energía . (11 de Diciembre de 2014). Obtenido de gob.mx:
<https://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/programa-nacional-para-el-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia-1990>
- Secretaria de Energía . (12 de Septiembre de 2015). *gob-mx*. Obtenido de
<http://www.gob.mx/sener>
- Secretaria de Energía . (2016). *Balance Nacional de Energía 2015*. Ciudad de México : Secretaria de Energía .
- Secretaría de Energía. (2012). *Estrategía Nacional de Energía 2013 - 2027*. México, D.F.
- Secretaría de Energía. (2013). *Estrategía Nacional de Energía 2014 - 2028*. México, D.F.

Seider, W. S. (2009). *Product and Process Design Principles: Synthesis, Analysis and Design* . John Wiley & Sons Inc. .

SENER. (2017). *Balance Nacional de Energía 2016*. Secretaria de Energía.

Smith, J., Van Ness, H., & Abbott, M. (2007). *Introducción a la termodinámica en ingeniería química*. México, D.F.: McGrawHill.

United States Environmental Protection Agency. (2015). *Energy Efficiency Improvement and Cost Savings Opportunities for Petroleum Refineries*. Washington D.C., USA: Energy Star.

World Energy Council. (12 de Agosto de 2016). *World Energy Council*. Obtenido de <https://www.worldenergy.org>

