



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E
INDUSTRIAS EXTRACTIVAS**

**“ORGANIZACIÓN DE LA AUDITORÍA DE ENERGÍA EN REFINERÍAS DE
PETRÓLEO CON BASE A LA NORMA ISO 50001”**

**TESIS PROFESIONAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO PETROLERO**

PRESENTA

JORGE ALBERTO PÉREZ MEZA

**DIRECTOR DE TESIS
M. EN C. RENE HERNANDEZ MENDOZA**

CD. DE MEXICO, MAYO DEL 2016



SECRETARÍA
DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO ACADÉMICO

México, D. F., 26 de enero del 2016.

T-015-16

Al C. Pasante:
JORGE ALBERTO PÉREZ MEZA

Boleta:
2009320863

Carrera:
IQP

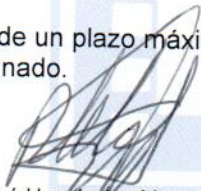
Generación:
2009-2013

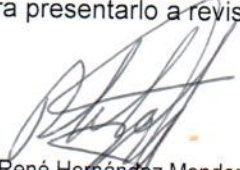
Mediante el presente se hace de su conocimiento que la Subdirección Académica a través de este Departamento autoriza que el **C. M. en C René Hernández Mendoza**, sea asesor en el tema que propone usted desarrollar como prueba escrita en la opción **Tesis Individual**, con el título y contenido siguiente:


“Organización de la Auditoría de Energía en Refinerías de Petróleo con base en la norma ISO 50001”


- Resumen.
- Introducción.
- I.- Sistema de gestión de energía ISO 50001.
- II.- Auditoría de energía.
- III.- Organización de la auditoría.
- IV.- Oportunidades de ahorro en los procesos de refinería.
- Conclusiones.
- Bibliografía.

Se concede un plazo máximo de un año, a partir de esta fecha, para presentarlo a revisión por el Jurado asignado.


M. en C. René Hernández Mendoza
Presidente de la Academia de
Aplicaciones de la Ingeniería


M. en C. René Hernández Mendoza
Director de Tesis
Ced. Prof. 411848


Lic. Guillermo Alberto de la Torre Arteaga
Jefe del Departamento de Evaluación y
Seguimiento Académico


Ing. Víctor Manuel Feregrino Hernández
Subdirector Académico

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas
DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO ACADÉMICO



1936-2016
ANOS IPN

T-015-16

Ciudad de México, a 3 de mayo de 2016

Al C. Pasante:

JORGE ALBERTO PÉREZ MEZA
PRESENTE

Boleta:
2009320863

Carrera:
IQP

Generación:
2009-2013

Los suscritos tenemos el agrado de informar a usted, que habiendo procedido a revisar el borrador de la modalidad de titulación correspondiente denominado:


“Organización de la Auditoría de Energía en Refinerías de Petróleo con base en la norma ISO 50001”.

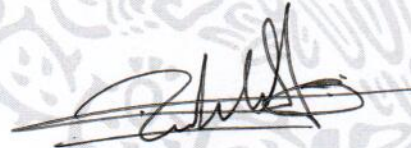
encontramos que el citado Trabajo de **Tesis Individual**, reúne los requisitos para autorizar el Examen Profesional y **PROCEDER A SU IMPRESIÓN** según el caso, debiendo tomar en consideración las indicaciones y correcciones que al respecto se le hicieron.


Atentamente
JURADO


Ing. Ariel Diazbarriga Delgado
Presidente


M. en C. Rene Hernández Mendoza
Secretario


Ing. Armando T. Avalos Bravo
1er. Vocal


M. en C. Roberto V. Avalos Bravo
2º Vocal


M. en C. Ma. de la Luz Valderrabano Almegua
3er. Vocal

c.c.p.- Expediente
CRG/rcr



Agradecimientos

Esta tesis es el producto del trabajo, esfuerzo y dedicación de muchas personas.

A mis padres que siempre me han apoyado en todo momento, así como respetado las decisiones que he tomado y a los cuales siempre les regresare todo el amor y apoyo que me han dado.

A mi hermana que me motiva a seguir creciendo personal y profesionalmente.

A mis amigos que siempre te hacen ver el lado bueno, malo verdadero y crudo de la vida, pero que nunca te dejan recorrerla solo.

A mis profesores que siempre tienen algo nuevo que enseñar y no se cansan de ello.

Y a todas las personas que he conocido en este camino que me han hecho ser el hombre profesional que ahora soy.





ÍNDICE GENERAL

DESCRPCIÓN	PÁGINA
ÍNDICE DE TABLAS	I
ÍNDICE DE FIGURAS	II
NOMENCLATURA	III
ABREVIATURAS	IV
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA ISO 50001	5
1.1 Normatividad Mexicana.	6
1.2 Descripción de la norma ISO 50001.	11
1.3 Requisitos Estructurales.	18
1.4 Requisitos Esenciales.	26
CAPÍTULO 2. AUDITORÍA DE ENERGÍA	29
2.1 Política De Energía de la Organización.	31
2.2 La Pirámide de Kelsen.	37
2.3 Diseño General de la Auditoría de Energía.	43
CAPÍTULO 3. ORGANIZACIÓN DE LA AUDITORÍA	49
3.1 Estudio de la Línea base.	50
3.2 Adquisición de Información.	52
3.3 Funcionamiento de una Refinería de Petróleo.	57
3.4 Oportunidades de Mejora en una Refinería de Petróleo.	70
3.5 Gestión de la Energía	74
CAPÍTULO 4. OPORTUNIDADES DE AHORRO EN LOS PROCESOS DE REFINERÍA	72
CONCLUSIONES	130
BIBLIOGRAFIA	136





INDICE DE TABLAS

NUMERO	DESCRIPCION	PAGINA
Tabla 1.1	Índice de la Norma ISO 50001	14
Tabla 1.2	Requisitos estructurales de la norma ISO 50001	18
Tabla 1.3	Requisitos esenciales de la norma ISO 50001	26
Tabla 3.1	Unidades de procesamiento de petróleo SNR 2012 y 2013	69
Tabla 3.2	Unidades de procesamiento PEMEX Gas y Petroquímica Básica 2012 y 2013	69
Tabla 4.1	Guía de oportunidades de mejora en eficiencia energética	74
Tabla 4.2	Resumen de medidas de eficiencia energética en Calderas	82
Tabla 4.3	Resumen de medidas de eficiencia energética en los sistemas de distribución de Vapor	87
Tabla 4.4	Clasificación de sistemas de control y mejoras típicas potenciales de eficiencia energética	125
Tabla C.1	Resumen de las acciones recomendadas para optimizar el consumo de energía en las unidades y equipos de refinerías	131
Tabla C.2	Resumen de las acciones recomendadas para optimizar el consumo de energía en refinerías y procesadoras de gas natural	133



INDICE DE FIGURAS

NUMERO	DESCRIPCION	PAGINA
Figura 1	Modelo PHVA del sistema de Gestión de Energía ISO 5000	17
Figura 2	Ejemplo de política de energía para el caso de declaración de política específica	32
Figura 3	Ejemplo en que la política de energía se incluye dentro de la política general de una organización, se reproduce una parte de la política de calidad de Pemex Refinación Ordenamiento jurídico de Kelsen	33
Figura 4	Ordenamiento jurídico de Kelsen	38
Figura 5	Leyes mencionadas en el marco normativo de Pemex antes de la Reforma energética de diciembre del 2013	39
Figura 6	Tratados Internacionales mencionadas en el marco normativo de Pemex antes de la Reforma energética de diciembre del 2013	40
Figura 7	Leyes regulatorias de Pemex después de la Reforma energética de diciembre del 2013	41
Figura 8	Leyes secundarias aprobadas	41
Figura 9	Mapa conceptual de una Auditoria de Energía	44
Figura 10	Diagrama de Pareto	54
Figura 11	Diagrama de Flujo simplificado del proceso de refinación y del flujo de productos	59
Figura 12	Principales elementos de un sistema de Gestión de Energía	70



Nomenclatura

bar	Unidad De Presión
bbl	Barril (Unidad De Volumen)
BFW	Agua De Alimentación De Caldera (Del Inglés <i>Boiler Feedwater</i>)
bpd	Barriles Por Día
BTU	Unidad De Energía Del Sistema Ingles (Del Inglés <i>British Thermal Unit</i>)
C	Centígrados (Unidad De Temperatura)
CVV	Controles De Voltaje Variable
dls	Dólares De Estados Unidos De América
F	Fahrenheit (Unidad De Temperatura En El Sistema Ingles)
FCC	Craqueo Catalítico Fluidizado
GEI	Gas De Efecto Invernadero
GLP	Gas Licuado Del Petróleo
HP	Caballo De Fuerza (Unidad De Potencia, Del inglés <i>Horse Power</i>)
hr	Hora (Unidad De Tiempo)
Hz	Hertz (Unidad De Frecuencia En El Sistema Internacional)
J	Joule
kWh	1×10^3 Watts/Unidad De Hora
lb	Libras
LEDs	Diodos Emisores De Luz (Del Inglés <i>Light-Emitting Diodes</i>)
mm	Milímetros (Unidad De Distancia)
MMpie ³ /h	Millones De Pies Cúbicos Por Hora
OI	Osmosis Inversa
pH	Potencial De Hidrogeno
psig	Libra-Fuerza Por Pulgada Cuadrada, De Manómetro (Del inglés <i>Pounds-Force Per Square Inch Gauge</i>)
UDA	Unidad De Destilación Atmosférica
UDV	Unidad De Destilación Al Vacío
UHC	Unidad De Hidrocraqueo
UVV	Unidades De Velocidad Variable
W	Watt (Unidad De Potencia)



Abreviaturas

SIGLAS	Significado
AE	Auditoria De Energía
AIE	Auditoria Interna De Energía
ANCE	Asociación De Normalización Y Certificación
ANSI	Instituto Nacional De Normalización De Los Estados Unidos De Norteamérica (<i>American National Standards Institute</i>)
CONUUE	Comisión Nacional Para El Uso Eficiente De La Energía
DOF	Diario Oficial De La Federación
FCC	Craqueo Catalítico Fluidizado
GE	Gestión De La Energía
GEMS	Sistema Global De Gestión Ambiental
HMU	Unidad De Fabricación De Hidrogeno
ISO	Organización Internacional De Estandarización
LASE	Ley Para El Aprovechamiento Sustentable De La Energía
LFMN	Ley Federal Sobre Metrología Y Normalización
LGEEPA	Ley General Del Equilibrio Ecológico Y La Protección Al Ambiente
NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos <i>National Electrical Manufacturers Association</i>
NMX	Normas Mexicanas
NOM	Normas Oficiales Mexicanas
NOM-EM	Normas De Emergencia
PEMEX	Petróleos Mexicanos
SAGARPA	Secretaria De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca Y Alimentación
SCFI	Secretaria De Comercio Y Fomento Industrial
SCT	Secretaria De Comunicaciones Y Transporte
SE	Secretaría De Economía
SECTUR	Secretaría De Turismo
SEGOB	Secretaria De Gobernación
SEMARNAT	Secretaría De Medio Ambiente Y Recursos Naturales



SENER	Secretaria De Energía
SENER	Secretaria De Energía
SGE	Sistema De Gestión De Energía
STPS	(Secretaria De Trabajo Y Previsión Social
TMB/ISO	Consejo De Administración Técnica De La Organización Internacional De Normalización <i>Technical Management Board/ International Organization For Standardization</i>
UDA	Unidad De Destilación Atmosférica
UDV	Unidad De Destilación Al Vacío
UH	Unidad De Hidrotratamiento
UHC	Unidad De Hidrocraqueo
US DOE	Departamento De Energía De Los Estados Unidos De América <i>United States Department Of Energy</i>
US EIA	Administración De Información De La Energía De Los Estados Unidos De América <i>United States Energy Information Administration</i>
US EPA	Agencia De Protección Ambiental De Los Estados Unidos De América <i>United States Environmental Protection Agency</i>



RESUMEN

Los sistemas de gestión de la calidad y ambiental basados en las normas ISO 9001 e ISO 14001 que utilizan conceptos, estrategias y métodos operativos muy similares, han ganado progresivo reconocimiento y aceptación internacional a partir de 1987 y 1992 respectivamente, a tal grado que se han convertido en importantes instrumentos de política pública, competitividad técnica y comercial, así como de imagen social de las organizaciones gubernamentales y privadas.

En julio de 2011 la organización ISO emitió la Norma 50001 “SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA – REQUISITOS CON ORIENTACIÓN PARA SU USO”, concebida como instrumento de Gestión de la Energía que integra la asistencia técnica con la promoción de buenas prácticas para lograr progresivamente el aprovechamiento óptimo del mencionado recurso en cualquier tipo de organización.

En esta tesis se describe un análisis del aprovechamiento de la energía en refinerías de petróleo, basado en la norma ISO 50001, que conduce a identificar oportunidades de ahorro en los diferentes procesos y equipos de estas instalaciones industriales. En el primer capítulo se describe la estructura y organización general del Sistema de Gestión de la Energía que establece la Norma, en el segundo capítulo se explica cómo se diseña la auditoría energética, a partir de la política de la organización, la estructura jerárquica de las regulaciones que le son aplicables y la normatividad correspondiente. El tercer capítulo describe cómo se organiza la auditoría de energía en una refinería de petróleo mediante una secuencia ordenada de actividades que incluyen el monitoreo, adquisición de datos y análisis del funcionamiento de los diversos procesos y equipos dentro de la instalación. El cuarto capítulo presenta una recopilación de las oportunidades de ahorro de energía en las refinerías modernas basada en experiencias a nivel internacional, que han sido publicadas en la literatura especializada.





INTRODUCCIÓN.

El entorno social y económico de México es complejo, la demanda de energía tiende a incrementarse y presiona hacia el aumento en la producción y quema de hidrocarburos, sin embargo, los tratados internacionales de libre comercio y los acuerdos para la preservación del medio ambiente obligan a establecer políticas y estrategias de mediano y largo plazo tendientes a disminuir y/o substituir su consumo, favoreciendo el uso de otras fuentes de energía renovables y de tipo sustentable, como son la biomasa y los biocombustibles, entre otros. Todo esto dentro del contexto globalizado en donde es imperativo el uso racional, eficiente y óptimo de cualquier fuente de energía.

El sector de la energía en nuestro país ha pasado por importantes cambios en los años recientes, la Reforma Energética promulgada por el Ejecutivo Federal en diciembre de 2013, modifica los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de forma tal que permite la participación de la iniciativa privada en la extracción, procesamiento y comercialización del petróleo y gas asociado. Estos cambios implican a su vez modificaciones a las leyes secundarias en materia energética y sus reglamentos, reorganizando el marco legal y administrativo de funcionamiento del sector energético, mediante el cual el país atenderá el abastecimiento y comercialización nacional de energía, el comercio internacional y los compromisos sociales, internos y externos, en materia de medio ambiente y sustentabilidad.

La Estrategia Nacional de Energía 2013 – 2027 plantea como objetivos lograr un ahorro del 15% en el consumo nacional de energía para el año 2026 y a la vez reducir en 30% las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a la línea base de 2012, mediante la aplicación progresiva de políticas y estrategias nacionales tendientes a:





- a) Incrementar los niveles de eficiencia en el consumo de energía de todos los sectores,
- b) Reducir el impacto ambiental del sector energético,
- c) Operar de forma eficiente, confiable y segura la infraestructura energética y
- d) Fortalecer y modernizar la infraestructura del sector energía.

En junio de 2011 fue emitida la norma internacional ISO 50001, “Sistemas de Gestión de la Energía – Requisitos de aplicación para su uso” cuya aplicación global contribuirá a una mayor disponibilidad de suministro de energía, mejora de competitividad y a un impacto positivo sobre el cambio climático. El 2 de febrero de 2012 se publicó en México, en el Diario Oficial de la Federación, la declaratoria de vigencia de la Norma Mexicana NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2011 que adopta fielmente el texto de la norma internacional ya referida.

Dependiendo de la política en materia de energía de una organización, esta norma internacional puede ser utilizada con diferentes alcances, desde el simple registro, hasta la certificación de sistemas de gestión, incluyendo la auto declaración del uso de la energía y/o de los energéticos.

La norma no establece requisitos absolutos para la eficiencia energética más allá de los compromisos de la política energética de la organización y su obligación de cumplir con la legislación pertinente. Se puede integrar con otros sistemas de gestión, tales como calidad, medio ambiente, salud, seguridad ocupacional y responsabilidad social.

La Norma ISO 50001 establece un Sistema de Gestión del uso de la energía, de aplicación y reconocimiento internacional, compatible para integrarse con otros sistemas similares aplicables a la calidad y al medio ambiente. En ella se especifican procedimientos administrativos de gestión, así como otros específicos para la medición, registro de consumo y posibilidades de mejora de eficiencia en la utilización de la energía y los energéticos.





Los sistemas de gestión de la energía conjugan la asistencia técnica y la promoción de buenas prácticas, estableciendo los procedimientos y acciones que, cuando se llevan a cabo en una instalación, evitan el desperdicio de energía manteniendo niveles óptimos de uso de la energía o bien mejorándolos de acuerdo a las oportunidades que permita el desarrollo de la tecnología.

La auditoría energética es el instrumento clave alrededor del cual se estructura la planeación, organización y operación de un Sistema de Gestión de la Energía. Se puede definir como Auditoría Energética al conjunto de acciones que es necesario llevar a cabo para medir y registrar la utilización y el consumo de energía y/o de energéticos en una instalación determinada, compararla contra indicadores o valores de referencia previamente establecidos y así determinar la conformidad entre ellos.

El objetivo de esta tesis es describir la forma de aplicar el Sistema General de Gestión de Energía que aporta la Norma ISO 50001 al caso específico de las Refinerías de Petróleo, de forma tal que derive en la identificación de oportunidades de ahorro y constituya una guía práctica para la realización de auditorías en este tipo de instalaciones industriales. La metodología utilizada consiste en describir, apegándose a la Norma, la secuencia de actividades específicas que necesita llevar a cabo la Gerencia y Dirección de la Refinería para instalar y operar un Sistema de Gestión de la Energía.

En el primer capítulo se describe la estructura de la NORMA ISO 50001 clasificando los requisitos que establece en dos tipos, estructurales y esenciales, los primeros de carácter administrativo y los segundos de tipo técnico. En el segundo capítulo se expone el marco legislativo y los elementos de política organizacional en materia de energía que dan lugar a la planeación y organización del sistema de gestión, y en los capítulos tercero y cuarto, se explica de manera detallada las estrategias de identificación de oportunidades, así como las actividades y recomendaciones





técnicas presentadas a mejorar la eficiencia energética, a nivel de procesos y equipos dentro de la instalación industrial.





Capítulo 1

Sistema de Gestión de Energía ISO 50001. [1,2]

En este capítulo se analizan los conceptos fundamentales que se requieren para comprender el funcionamiento de los Sistemas de Gestión de la Energía SGE.

Se inicia con la descripción general de la Normatividad Mexicana, indicando la importancia que las normas tienen como instrumentos para lograr que las organizaciones cumplan con las disposiciones y obligaciones de ley, para después proceder a describir el contenido y características de la Norma ISO 50001.

Se puede definir a un Sistema de Gestión de la Energía como el conjunto de elementos interactivos e interrelacionados que definen una política y objetivos sobre el uso y consumo de la energía en una organización, así como los procesos y procedimientos necesarios para lograr su cumplimiento.

Con fecha 5 de enero de 2012 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la declaratoria de vigencia de la Norma NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2011, “SISTEMAS DE GESTION DE LA ENERGIA – REQUISITOS CON ORIENTACIÓN PARA SU USO”

Esta Norma Mexicana coincide totalmente con la Norma Internacional ISO 50001, “*Energy Management Systems Requirements with guidance for use*” que publicó en junio del 2011 la Organización Internacional para la Estandarización.

En su Objetivo y Campo de Aplicación se establece lo siguiente:

Esta Norma Mexicana especifica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de la energía, con el propósito de permitir a una organización contar con un enfoque sistemático para alcanzar una mejora continua en su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, el uso y el consumo de la energía.





La Norma Mexicana para los Sistemas de Gestión de la Energía:

- Especifica los requisitos aplicables al uso y consumo de la energía, incluyendo la medición, documentación e información, las prácticas para el diseño y compra de equipos, sistemas, procesos y personal que contribuye al desempeño energético.
- Aplica para todas las variables que afectan al desempeño energético que puedan controlarse por la organización y sobre las que pueda tener influencia. Esta Norma Mexicana no establece criterios específicos de desempeño con respecto a la energía.
- Es aplicable a todo tipo de organización que desee asegurar que cumple con su política energética, lo que se puede demostrar por medio de una auto evaluación y auto declaración de conformidad, o mediante la certificación del SGE por parte de una organización externa.
- Puede utilizarse de forma independiente, pero también puede alinearse o integrarse con otros sistemas de gestión.
- Proporciona en su Apéndice A, una guía informativa sobre su uso.





1.1 Normatividad Mexicana [1,3,4]

La Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN) menciona distintos tipos de normas oficiales mexicanas entre las que encontramos las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y las Normas Mexicanas (NMX).

Solo las normas NOM son de uso obligatorio en su alcance. Las normas NMX expresan una recomendación de parámetros o procedimientos, aunque si son mencionadas como parte de una norma NOM, al ser éstas de uso obligatorio, su observancia pasa a ser obligatoria.

Los tipos de Normas Mexicanas

Las NOM tienen como principal objetivo prevenir los riesgos de la salud, la vida y el patrimonio y por lo tanto son de observancia obligatoria. Estas regulaciones técnicas presentan la información, los requisitos, las especificaciones, los procedimientos y la metodología que hacen que las dependencias gubernamentales puedan establecer parámetros medibles, de forma que se eviten riesgos a la población, al medio ambiente y a los animales.

De esta manera las NOM se definen de uso obligatorio para quienes caen dentro del alcance de la aplicación de las mismas y, a su vez, dentro de la vigencia de las mismas.

Estas normas se publican y se actualizan en el Diario Oficial de la Federación, periódico oficial del Gobierno Constitucional de México. A su vez se encuentran en medios electrónicos lo que las transforma en accesibles para todo el público.

De todas formas, para, referirse los tipos de Normas Oficiales Mexicanas deben manejarse las publicadas por el Diario Oficial de la Federación.





Normas Mexicanas

Las Normas Mexicanas son de aplicación voluntaria y sirven de referencia para determinar la calidad de productos y servicios, fundamentalmente con el objetivo de orientar y proteger a los consumidores. Su campo de aplicación es determinado por la propia norma y puede ser nacional, regional o local.

Estas normas (NMX) se publicaban íntegramente en el Diario Oficial de la Federación al igual que las NOM e incluso se podían obtener en medios electrónicos ya que eran emitidas por entidades públicas del gobierno. Pero recientemente se han dejado por parte del gobierno y pasaron a ser responsabilidad de organismos privados relacionados a la materia, los cuales licencian su uso por medio de dinero o la participación en su elaboración. Por esto las NMX se pueden considerar de acceso restringido y distribución negada a quienes las adquieren, a diferencia de las NOM.

Identificación de los tipos de normas oficiales mexicanas

Los dos tipos de normas oficiales mexicanas se identifican por tres letras (NOM o NMX) y tres dígitos según la numeración de la misma (ejemplo: NOM-006).

Además, luego de la numeración de los tipos de normas oficiales mexicanas se ubican tres o cuatro letras, sigla de la Secretaría de Estado o dependencia que estuvo involucrada en el estudio, emisión y encargo de los procedimientos de verificación (NOM-006-SCFI).

Por último, se agregan cuatro dígitos, que indican el año que se publicó la norma por el Diario Oficial de la Federación (NOM-006-SCFI-2005).

Además, en las Normas Mexicanas (NMX) únicamente, se coloca la sigla del organismo privado responsable de la norma, como puede ser la ANCE; o entre la sigla NMX y el número de la norma se coloca una letra que indica el área técnica que realizó la norma. (Ejemplos: NMX-AA-127-SCFI-2006 o NMX-J-010-1996-ANCE).





Normalmente, cualquiera de los dos tipos de normas oficiales mexicanas, está vigente solo por cinco años. Por lo menos un año antes se indica en el Diario Oficial de la Federación si la norma entra en revisión para su sustitución, su cancelación o su refrendo por un período más.

Proyecto de Norma y Norma de Emergencia

Dentro de los tipos de normas oficiales mexicanas también se pueden encontrar proyectos de normas o normas de emergencia como alternativas además de las NOM y NMX.

Si delante de la sigla NOM se escribe la letra P o PROY, el texto forma parte solamente de un Proyecto de Norma (ejemplo: PROY-NOM-157-SEMARNAT-2009) y como tal, no se puede usar porque podría modificarse, en caso de que surjan observaciones realizadas u obtenidas en el comité técnico que elaboró el Proyecto de Norma.

Las dependencias pueden elaborar anteproyectos de NOM, que se someten a los comités consultivos nacionales de normalización para elaborar posteriormente, si es posible, el proyecto de NOM. Para esto se deberá tomar en cuenta las normas mexicanas e internacionales existentes, que tengan reconocimiento jurídico en el país.

Las Normas de Emergencia (NOM-EM) son las que se expiden por ese motivo. Un problema común de estas normas es la falta de regulación del significado de emergencia, lo que genera a veces que se emitan normas con este título cuando realmente no se justifica.

En estos casos, la elaboración de este tipo de norma oficial mexicana no precisa de anteproyectos o proyectos previos. La Norma de Emergencia la puede elaborar la dependencia competente, con la colaboración de otras dependencias y ordenar su publicación en el Diario Oficial de la Federación directamente. Es decir que la Norma de Emergencia no se someterá a consulta pública ni habrá respuestas.





La vigencia de la NOM- EM está limitada a seis meses, y la norma podrá expedirse dos veces consecutivas como máximo. Transcurrido dicho plazo la NOM pierde su vigencia.

Ordenamiento de las normas

Las NOM se agrupan por lo regular por dependencias gubernamentales, dentro de las cuales se tienen: la SE (Secretaría de Economía), SECTUR (Secretaría de Turismo), SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), STPS (Secretaria de Trabajo y Previsión Social), SENER, Secretaria de Energía, SALUD (Secretaria de Salud), SCT (Secretaria de Comunicaciones y Transportes), SEGOB (Secretaria de Gobierno) y SSP (Secretaria de Seguridad Publica).





1.2 Descripción de la Norma ISO 50001-2011. SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA-REQUISITOS CON ORIENTACIÓN PARA SU USO. [1,2,5]

La energía y los energéticos en particular, tan importantes para la sociedad moderna, son bienes de intenso intercambio comercial a nivel global, por lo que están sujetos a normas internacionales de uso generalizado.

En febrero de 2008, el Consejo de Administración Técnica de la Organización Internacional de Normalización (*TMB/ISO, Technical Management Board/ International Organization for Standardization*) aprobó la creación del *Comité Técnico 242 para la gestión energética (TC 242, Technical Comitee)*, presidido por un representante del Instituto Nacional de Normalización de los Estados Unidos de Norteamérica (ANSI), con objeto de desarrollar y emitir la norma internacional de gestión energética ISO 50001. La gestión incluye temas como: eficiencia energética, suministro de energía, prácticas de adquisición de equipos y sistemas que utilizan energía, uso y medición de energía, implementación de sistemas de medición para documentar, reportar y validar la mejora continua en el área de gestión de energía, entre otros.

En noviembre de 2008, se publicó en el Diario Oficial de la Federación de México la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE), que describe la regulación del sector público para promover la eficiencia y sustentabilidad energética, así como la reducción de la dependencia de los hidrocarburos como fuente primaria de energía. Asimismo, establece en su artículo 26 que los particulares podrán certificar de forma voluntaria el grado de incorporación de eficiencia energética de sus procesos, productos y servicios.

La Estrategia Nacional de Energía (referencia 2013 2027) pretende encauzar las fuerzas de la oferta y la demanda de energía, de modo que se brinde viabilidad al crecimiento económico de México y se extienda el acceso a servicios energéticos de calidad a toda la población, a fin de que reciban los beneficios que derivan del consumo eficiente y responsable de la energía. En ella se consideran diversas





medidas políticas y de integración, orientadas a promover la sustentabilidad del sector energético nacional.

En la estrategia se considera que se puede alcanzar y consolidar un sistema energético nacional sustentable, ampliando constantemente la gama de energéticos primarios disponibles a través del creciente aprovechamiento de las energías renovables y promoviendo consistentemente el logro de niveles cada vez mayores de eficiencia energética y ambiental.

El concepto de eficiencia energética y ambiental se refiere a la aplicación de las mejores prácticas disponibles en la producción y consumo de energía. La eficiencia no solo optimiza la producción y consumo, sino también minimiza su impacto ambiental. En este contexto nacional la Norma Internacional ISO 50001 es un instrumento de gestión energética de relevante importancia.

En junio de 2011 fue emitida la norma internacional ISO 50001, “Sistemas de Gestión de la Energía – Requisitos de aplicación para su uso” cuya aplicación global contribuirá a una mayor disponibilidad de suministro de energía, mejora de competitividad y a un impacto positivo sobre el cambio climático. El 2 de febrero de 2012 se publicó en México, en el Diario Oficial de la Federación, la declaratoria de vigencia de la Norma Mexicana NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2011 que adopta fielmente el texto de la norma internacional ya referida.

Esta norma internacional puede ser utilizada para la certificación, registro y/o auto declaración del Sistema de Gestión de Energía (SGE) de una organización. No establece requisitos absolutos para la eficiencia energética más allá de los compromisos de la política energética de la organización y su obligación de cumplir con la legislación pertinente. Se puede integrar con otros sistemas de gestión, tales como calidad, medio ambiente, salud y seguridad ocupacional y responsabilidad social.





Como en el caso de otras normas internacionales, en México la ISO 50001 será una herramienta que permitirá la administración eficiente de la energía de forma permanente, planeada, medible y con mejora continua, en lugar de acciones de eficiencia energética aisladas.

En términos generales, la norma ISO 50001 se enfoca a optimizar y reducir el consumo de energía con los beneficios inmediatos de: a) Reducir costos, b) Reducir emisiones de gases de efecto invernadero y c) Mejorar la seguridad del suministro, entre otros. Es claro que los objetivos anteriores pueden lograrse implantando Sistemas de Gestión de Energía que, de forma similar a la Gestión de la Calidad, funcionen como herramientas gerenciales y administrativas que formen parte del manejo rentable de los negocios, entendiendo el concepto rentable es un sentido amplio, que abarca el funcionamiento económico, ambiental y de seguridad energética.

Aunque es un documento de uso general que puede adquirir cualquier organización o persona interesada, el texto de la norma es material protegido por derechos de autor y no se puede reproducir libremente. En la tabla 1 se anota el índice de la norma.





Tabla 1.1 Índice de la Norma ISO 50001.

Contenido	Página
Introducción	iii
1.- Resumen	1
2.- Referencias Normativas	1
3.- Términos y Definiciones	5
4.- Requisitos para el Sistema de Gestión de Energía	5
4.1- Requisitos Generales	5
4.2. Responsabilidades de la Gestión	5
4.2.1. Alta Dirección	5
4.2.2. Representantes de la Dirección	6
4.3. Política de Energía	6
4.4. Planificación Energética	6
4.4.1. Generalidades	6
4.4.2. Requisitos Legales y Otros	7
4.4.3. Revisión Energética	7
4.4.4. Línea Base de Energéticos	7
4.4.5. Indicadores de Desempeño Energético	8
4.4.6. Objetivos Energéticos, Metas Energéticas y Planes de Acción de Gestión Energética	8
4.5. Implementación y Operación	8
4.5.1. Generalidades	8
4.5.2. Competencia, Entrenamiento y Conciencia	8
4.5.3. Comunicación	9
4.5.4. Documentación	9
4.5.5. Control Operacional	10
4.5.6. Diseño	10
4.5.7. Adquisición de Servicios Energéticos, Productos, Equipos y Energía	10
4.6. Control	11
4.6.1. Monitoreo, Medición y Análisis	11
4.6.2. Evaluación de Conformidad con Requerimientos Legales y Otros Requerimientos	11
4.6.3. Auditorías Internas de los Sistemas de Gestión Energéticos (SGE)	11
4.6.4. No Conformidades, Correcciones, Acciones Correctivas y Acciones Preventivas	12
4.6.5. Control de Expedientes	12
4.7. Revisión de la Dirección	12
4.7.1. Generalidades	12
4.7.2. Entradas para Revisión de la Gestión	12
4.7.3. Salida del análisis por la Gestión	13
Anexo A(informativo) Orientación Sobre el Uso de esta Norma Internacional	14
Anexo B(informativo) Correspondencia entre ISO 50001:2011, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 e ISO 22000:2005	20
Bibliografía	22

Elaboración Propia con datos de [2]





La norma es aplicable a cualquier organización que desee asegurarse de que se cumple una política energética establecida, mediante la autoevaluación y auto declaración de conformidad o bien mediante la certificación del sistema de gestión por una organización externa. Es aplicable a todas las variables que afectan la eficiencia en la producción y uso de la energía y específica.

A grandes rasgos, la norma específica:

- ✓ Los requisitos aplicables al uso y consumo de energía incluyendo la medición, documentación y presentación de informes.
- ✓ El diseño y operación de estrategias, metodologías, prácticas y procedimientos aplicables al uso de equipos, sistemas, operación de procesos y actuación del personal que contribuyan a lograr la eficiencia energética.
- ✓ Los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de la energía. El sistema de gestión de energía se dedica a desarrollar e implantar la política energética de la organización, así como al manejo y gestión de los procesos y actividades que se desarrollan en ella, en conexión con el uso y aprovechamiento de la energía

El modelo de gestión de la norma ISO 50001 es similar al de otras normas, entre ellas la ISO 9000 y la ISO 14000. Se trata de un ciclo de mejoramiento continuo, Planear, Hacer, Verificar y actuar:

- ✓ Planear. - Se centra en entender el comportamiento energético 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. - Monitorear y medir procesos y productos en base a las políticas, objetivos y características claves de las operaciones y reportar los resultados.
- ✓ Actuar. - Tomar acciones para mejorar continuamente el desempeño energético en base a los resultados

La norma no necesariamente impone criterios específicos que definan inequívocamente la eficiencia energética; al utilizar este término técnico frecuentemente se refiere a “hacer lo mismo utilizando menos energía”, lo que significa que no necesariamente se trata de reducir la cantidad de combustibles y energía eléctrica, entre otras, que se utilizan en determinada organización. Desde el punto de vista sistémico, el enfoque de la norma es implantar un sistema estructurado que promueva y asegure ahorros a la vez que se mantenga una tendencia hacia el uso óptimo de la energía.

En la figura 1 se presenta el modelo de gestión de la energía de la Norma ISO 50001, que indica a grandes rasgos la participación, interacción, compromisos y responsabilidad de los diferentes actores de la organización, así como la secuencia de actividades, comunicación y flujo de información para implantar y mantener el ciclo de mejora continua.



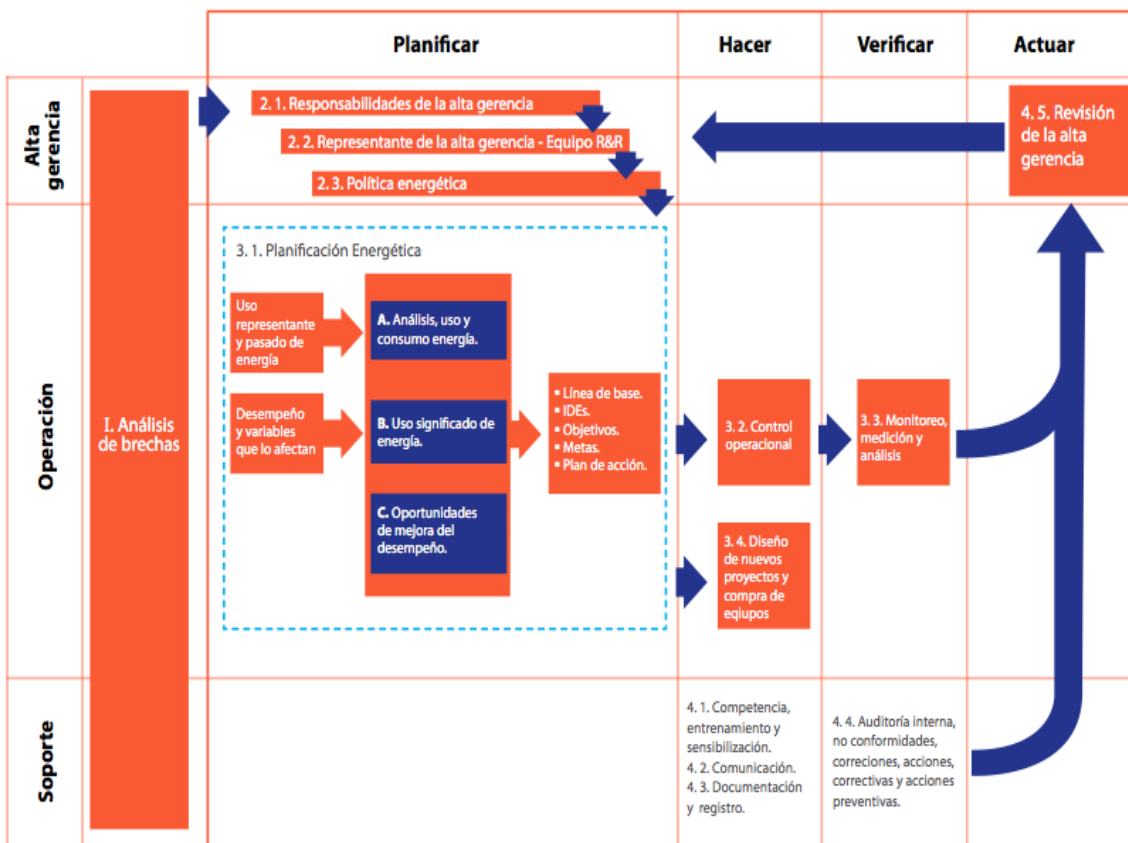


Figura 1. Modelo PHVA del sistema de Gestión de Energía ISO 5000. [6]

De acuerdo al modelo sistémico de mejoramiento continuo que establece la norma, en cada etapa se tienen diferentes requisitos. En este trabajo se clasificarán como estructurales y esenciales, según sea su contribución al establecimiento del Sistema de Gestión de Energía.

Los requisitos esenciales corresponden a los procedimientos indispensables para medir, analizar y mejorar el desempeño energético y los segundos son aquellos que proveen la estructura en torno a los esenciales y que convierten la gestión de la energía en un proceso sistemático y controlado



1.3 Requisitos Estructurales [2]

Omitiendo de la tabla 1.1 las entradas que corresponden a los requisitos esenciales, se obtiene la tabla 1.2 que detalla los requisitos estructurales del sistema de gestión de la norma ISO 50001.

Tabla 1.2 Requisitos estructurales de la norma ISO 50001.

Requisitos Generales	4.1 Requisitos generales. 4.2 Responsabilidad de la dirección. 4.2.1 Alta dirección. 4.2.2 Representante de la dirección. 4.3 Política energética.
Planificar	4.4 Planificación energética. 4.4.1 Generalidades. 4.4.2 Requisitos legales y otros requisitos. 4.4.3 4.4.4 4.4.5 4.4.6
Hacer	4.5 Implementación y operación. 4.5.1 Generalidades. 4.5.2 Competencia, formación y toma de conciencia. 4.5.3 Comunicación. 4.5.4 Documentación. 4.5.5 Control operacional. 4.5.6 4.5.7
Verificar	4.6 Verificación. 4.6.1 4.6.2 Evaluación de cumplimiento con los requisitos legales y otros requisitos. 4.6.3 Auditoría interna del SGE. 4.6.4 No-conformidades, corrección, acción correctiva y preventiva. 4.6.5 Control de registros.
Actuar	4.7 Revisión por la dirección. 4.7.1 Generalidades. 4.7.2 Información de entrada para la revisión por la dirección. 4.7.3 Resultado de la revisión por la dirección.

Elaboración Propia con datos de [2]





A continuación, se comentan los requisitos estructurales incluidos en cada etapa del ciclo de mejora continua.

Para asegurar el éxito del sistema de gestión de la energía, en primer lugar, es indispensable contar con el compromiso de la alta dirección, que se encarga de asegurar la disponibilidad de los recursos humanos y materiales necesarios para instalar el sistema y los correspondientes procesos de mejora continua, promoviendo que la organización lo haga suyo horizontal, vertical y transversalmente. Su compromiso se manifiesta especialmente en dos acciones: establecer la política energética y nombrar un representante como responsable del sistema de gestión de la energía.

Asumir el compromiso significa establecer, documentar, implementar, mantener y mejorar un SGE y responsabilizarse de asegurar su correcto funcionamiento en todos los niveles de la organización.

Como primera actividad dentro de sus responsabilidades, la alta dirección debe transmitir la importancia de contar con un SGE, los beneficios que éste trae y el rol que cumplen las personas al interior de la organización.

Es importante que, al iniciar la implementación, la alta dirección defina el alcance y las limitaciones del sistema. Su funcionamiento es clave para el éxito de la instalación y operación del sistema y requiere, en específico, el compromiso de asegurar los recursos humanos y materiales necesarios, además de otorgar los medios que hagan posible la sensibilización sobre la eficiencia energética y generar los incentivos adecuados a cada nivel de la organización.

Es recomendable que las responsabilidades de la alta dirección queden registradas en el Manual del SGE u otro tipo de documento, como, por ejemplo, la descripción de cargos.





La alta dirección se encarga de designar un responsable del SGE encargado de fungir como su representante, que cuente con las habilidades y competencias adecuadas y con el nivel de responsabilidad y autoridad suficiente para poder influir en el funcionamiento de la organización, de tal manera que asegure el funcionamiento correcto del SGE.

El representante de la dirección designará un equipo de trabajo para la gestión de la energía (GE) que apoyará la implementación del SGE durante todas las etapas, con énfasis en la revisión energética. Es necesario que en el equipo laboren personas con conocimientos específicos de energía en conexión con los equipos y procesos que maneja la organización.

El equipo debe reunir, al menos, integrantes de las siguientes áreas:

- Operacional y mantenimiento
- Legal
- Recursos humanos y capacitación
- Comunicaciones y mercadotecnia
- Ingeniería y proyectos
- Compras y abastecimiento

La Política energética es la declaración de la intención de la organización para lograr mejoras en el desempeño energético y la forma de lograrlo. Para desarrollarla, es recomendable basarse en las estrategias, sistemas de gestión o políticas existentes en la organización, de manera que permitan armonizar los objetivos de la organización con los requisitos de la norma. Es imprescindible que toda la organización esté alineada con los compromisos que se asumen en el SGE, de manera que cada persona que trabaja en ella, o en su nombre, esté comprometida con la mejora en el desempeño energético.

PLANIFICAR

Consiste en diseñar y aplicar una metodología que permita identificar los requisitos legales aplicables en materia de energía, así como los que especifique la





organización basados en consideraciones científicas y de ingeniería, con el fin de asegurar su cumplimiento y que sean considerados al definir controles operacionales y metas de reducción de consumo.

La organización asegurará que se cumple con los requisitos que establece el SGE, apegado a la política de la misma y desde luego a la norma, en cuanto al uso, consumo y eficiencia de la energía:

Uso. Forma o tipo de aplicación de la energía, por ejemplo, proceso, iluminación, enfriamiento, calentamiento, ventilación, etc.

Consumo de energía. Cantidad de energía utilizada, puede expresarse en unidades de masa, volumen o energía.

Eficiencia energética. Relación cuantitativa entre la salida o resultado de un proceso y la cantidad de energía utilizada.

Establecer un SGE requiere una planeación exitosa, misma que se puede lograr si se tiene información confiable y suficiente acerca de los procesos que consumen energía y del comportamiento de los usuarios. Es muy recomendable que se haga un diagnóstico inicial en el que participe personal técnico y administrativo conocedor de la organización y experto en su área.

Generalmente una auditoría interna de energía (AIE) es el paso previo recomendado para obtener la información indispensable para la planeación eficaz y eficiente del SGE y comprende el conjunto de requisitos esenciales de la norma ISO 50001 de los apartados 4.4.3 Revisión energética, 4.4.4 Línea base energética, 4.4.5 Indicadores de desempeño energético, y 4.4.6 Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción de gestión de la energía.

La alta dirección y su representante, como responsables del SGE decidirán si se hace una AIE como paso previo a la planificación o se programa como parte del





proceso para instalar el SGE. El hacerlo de una u otra forma puede significar diferencias de costo y tiempo de ejecución.

HACER

Competencia, formación y toma de consciencia. La norma busca asegurar que todas las personas que trabajen en la organización estén conscientes de la importancia de la mejora del desempeño energético y que se apropien del papel que cumplen dentro del SGE, para lograrlo, es indispensable contar con el apoyo del área de capacitación y/o recursos humanos que, en esta etapa, se encargará de desarrollar las siguientes actividades:

Elaborar un procedimiento que permita identificar las necesidades de capacitación y proveer entrenamiento adecuado para cubrirlas. El procedimiento debe generar el registro de los cursos impartidos y la asistencia de manera que sirva como evidencia de que las personas están conscientes de su papel y responsabilidad en el SGE y desempeño energético.

Elaborar un plan de capacitación que asegure que todas las personas que trabajan en la empresa o en su nombre, tienen la educación, entrenamiento, habilidad y/o experiencia adecuada para desempeñar su cargo de manera responsable en relación con el uso, consumo y desempeño energético. Es importante que la organización identifique los perfiles de su personal y su relación con el uso, consumo y desempeño energético.

Es recomendable desarrollar una capacitación inicial que permita entregar los conocimientos básicos de la norma ISO 50001 a los trabajadores de la organización.





Comunicación. Consiste en desarrollar mecanismos de comunicación interna y externa, que permitan entregar información respecto al sistema de gestión de energía a todas las áreas de la organización y obtener retroalimentación de éstas.

La organización debe decidir que comunicar y de qué forma, por lo que es recomendable que incluya al personal del área de comunicaciones y mercadotecnia, quienes inciden directamente sobre la estrategia de comunicación de la organización. Es recomendable que cualquier persona dentro de la organización pueda sugerir mejoras al SGE asegurándose que éstas sean debidamente procesadas y comunicadas a los responsables pertinentes.

Documentación. La norma ISO 50001 incorpora como requisito mantener documentados todos los procesos, procedimientos, instructivos y registros. Esto tiene como propósitos recabar evidencias del cumplimiento de actividades en el SGE y mantener toda la información disponible y al alcance de toda la organización.

Se recomienda definir una estructura y formato al inicio de la implementación que permita identificar fácilmente los datos e indicadores que deban registrarse, la periodicidad del registro, unidades de medida, etc. La organización definirá la forma de levantar y recuperar la información, el lugar donde deba almacenarse, la accesibilidad y control de documentos, etc. Es recomendable que los especialistas en sistemas y comunicación de la organización, participen y organicen el resguardo y tratamiento estadístico de la información.

Si la organización cuenta con otro sistema de gestión, se recomienda usar formatos similares y la forma de identificarlos, de manera que se pueda integrar el SGE a otros sistemas que ya estén funcionando.

Control Operacional. Operar el SGE requiere asignar las actividades y responsabilidades al personal con el perfil laboral y experiencia adecuadas al puesto, debidamente capacitado y en actualización constante, y que a su vez éste





se encargue de cumplir responsablemente con sus actividades en tiempo y forma, documentando y registrando convenientemente su desempeño.

Diseñar e instalar los sistemas y procedimientos de comunicación horizontal, vertical y transversal contribuirá a asegurar el funcionamiento eficaz y eficiente del SGE, así como detectar permanentemente las oportunidades de mejora, desviaciones y fallas, de manera que, a través del SGE se puedan llevar a cabo las acciones de corrección y mejora que procedan en tiempo y forma.

Es recomendable que sean los expertos en los procesos y sistemas técnicos, administrativos y de comunicación de la organización quienes participen activamente en el diseño, organización, supervisión y control de los procesos y procedimientos del SGE, así como en el resguardo y tratamiento estadístico de la información. Con la retroalimentación de los resultados que se obtengan con el sistema de gestión el personal ya citado estará en condiciones de generar los ciclos de mejora continua para la organización.

La auditoría externa, realizada por pares de los expertos que laboran en la organización, es un procedimiento que puede mejorar el desempeño del SGE de la organización. Si se hace bien, permite detectar posibles errores sistemáticos y sesgos en los procesos y procedimientos ya instalados en los procesos del SGE.

VERIFICAR

La verificación consiste en cerciorarse que los procesos y procedimientos que forman parte del sistema de gestión de la energía funcionan efectivamente de acuerdo a lo planeado y definido por la organización, cumpliendo con los requisitos de la norma ISO 50001. Para la verificación, se requiere disponer de los resultados de la AIE, que integra los procedimientos esenciales del SGE y que se trata en la siguiente sección de esta tesis.





No conformidades, corrección, acción preventiva y correctiva. Los resultados de la AIE permitirán saber si se está cumpliendo con los requisitos legales y otros requisitos que la organización haya incorporado a su SGE. De no ser así, permitirá conocer y diagnosticar incumplimientos y fallas en los procesos y procedimientos a cargo del sistema de gestión que deberán atenderse oportunamente mediante acciones correctivas o preventivas según sea el caso. Lo anterior no necesariamente significa que el SGE esté fallando, el diseño del SGE es de tipo sistémico y utiliza el concepto de ciclo de mejora continua, de manera que contiene procedimientos que permiten diagnosticar oportunidades de mejora, así como de detectar fallas o incumplimientos en alguna de las partes que lo constituyen.

Control de registros. La norma ISO 50001 indica que la organización debe establecer y mantener registros que documenten los resultados del SGE de manera que constituyan evidencias que demuestren conformidad o no conformidad con los requisitos de la norma ISO 50001 así como con el sistema mismo. La identificación, recopilación y registro de los documentos es responsabilidad de la organización, deberán ser y permanecer legibles, identificables y accesibles a los usuarios del sistema, en particular a aquellos relacionados con la actividad relevante de que se trate.

Es recomendable que sean los expertos en los procesos y sistemas técnicos, administrativos y de comunicación quienes diseñen los formatos y registros documentales de los procesos y procedimientos integrados en el SGE, así como en su accesibilidad, distribución, tratamiento estadístico de datos y resguardo.





1.4 Requisitos Esenciales. [7]

Los requisitos esenciales son todos aquellos centrados en la gestión misma de la energía. Esto quiere decir que, si una organización decide trabajar solo en ellos, estará integrando el desempeño energético en sus variables de control operacional y será posible ver resultados en su consumo de energía y costos asociados a él. En estos requisitos quedan comprendidas todas las actividades de análisis del uso y consumo de energía y desempeño energético, así como los de control operacional, diseño, compra y monitoreo.

Omitiendo de la tabla 1 los requisitos estructurales se obtiene la tabla 1.3 que detalla los requisitos esenciales de la norma ISO 50001.

Tabla 1.3 Requisitos esenciales de la norma ISO 50001.

Requisitos Generales	
Planificar	<i>4.4.3 *Revisión energética. 4.4.4 *Línea base energética. 4.4.5 *Indicadores de desempeño energético. 4.4.6 *Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción de gestión de la energía.</i>
Hacer	<i>4.5.6 *Diseño. 4.5.7 *Adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía.</i>
Verificar	<i>4.6.1 *Seguimiento, medición y análisis.</i>
Actuar	

Elaboración Propia con datos de [2]

Una vez que se cuente con la declaración de la alta dirección de la organización de trabajar consistentemente en la gestión de la energía y se tenga definida la política energética de la organización, el primer elemento de los requisitos esenciales corresponde a la planificación energética





En términos simples, el primer paso es hacer un diagnóstico inicial desde el punto de vista técnico que indicará el punto de partida del SGE; posibilitará establecer los objetivos realistas de mejora continua y el estimado de costo beneficio que tendrá para la organización invertir recursos económicos y capital humano en implantar el SGE.

El objetivo principal de esta etapa del SGE es la indicada en el apartado 4.4.6 de la norma: Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción. Para alcanzarlo, se necesitan desarrollar secuencialmente o en paralelo las actividades indicadas en los apartados 4.4.3 a 4.4.5., Revisión energética, Línea Base energética e Indicadores de desempeño energético; todo ello dentro del marco social, empresarial, normativo, legislativo, etc., aplicable al lugar y entorno donde opera la organización.

Esta consiste en reunir la información de consumo de energía y analizarla, con el fin de identificar los usos significativos de la energía y cuáles son las variables que lo afectan. Del resultado de la planificación energética, se definen los controles operacionales y las actividades de monitoreo, medición y análisis de la organización.

Es importante que el personal responsable y participante en la planificación cuente con los conocimientos técnicos, administrativos y la experiencia profesional suficiente para lograr las metas indicadas. Es recomendable que los responsables de esta actividad cuenten con la participación de ingenieros mecánicos, electricistas, químicos, industriales, de sistemas, etc., así como especialistas en ciencias de la información y la administración

Como se observa, se trata de equipos multidisciplinarios con capacitación y competencias específicas, razón por la cual las organizaciones frecuentemente recurren a la contratación de empresas de servicios especializadas en auditoría y/o gestión.

La secuencia de actividades necesaria para satisfacer los requisitos esenciales que especifica la norma ISO 50001, se pueden agrupar bajo el concepto Auditoría de





Energía (AE), denotando con ello una estrategia y una secuencia de procedimientos ordenados para diagnosticar el uso y aprovechamiento de la energía dentro de una organización que abarca tres etapas, planear, hacer y verificar.

De manera general, el diagnóstico es una herramienta esencial, indispensable para la toma de decisiones. Aunque la AE forma parte de los requisitos establecidos por la norma ISO 50001 para instalar y operar un SGE dentro de una organización cualquiera, realizar una AE constituye un trabajo auto contenido desde el punto de vista sistémico que puede hacerse de manera independiente.

Los capítulos 2 y 3 de esta tesis se dedican a describir la Auditoría de Energía, sus objetivos, organización y alcance desde el punto de vista de la Ingeniería Química Petrolera y dentro del contexto de la norma ISO 50001.





Capítulo 2

AUDITORÍA DE ENERGÍA. [8,9]

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), decretada originalmente en 1988, con fecha de última modificación 9 de enero de 2015, y el Reglamento de la misma en materia de Autorregulación e Impacto Ambiental publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de abril de 2010, constituyen el Marco Legislativo que, en términos generales, especifica los requisitos que las empresas que operan en el territorio nacional, públicas o privadas, deben satisfacer con el fin de obtener la certificación de cumplimiento en la materia, emitido por organizaciones acreditadoras y certificadoras reconocidas y aceptadas por las autoridades ambientales federales.

Este reglamento establece un conjunto de requisitos y parámetros que deben evaluarse mediante procedimientos debidamente planeados, organizados y ejecutados (auditorías), para determinar el desempeño ambiental de las empresas en materia de: 1) Aire y ruido, 2) Agua, 3) Suelo y Subsuelo, 4) Residuos, 5) Energía, 6) Recursos Naturales, 7) Vida Silvestre, 8) Recursos Forestales, 9) Riesgo Ambiental, 10) Gestión Ambiental y 11) Emergencia Ambiental.

Los diversos tipos de auditorías que la LGEEPA establece, tienen en común lo relacionado con la administración y ejecución del proceso de auditoría (requisitos estructurales) y difieren ampliamente en la medición, registro y análisis de las variables objeto de la auditoría (requisitos esenciales) como son, por ejemplo, medir la concentración de contaminantes en aire, suelo o agua, cantidad de energía en forma de calor emitida al medio ambiente, etc.

Lo anterior hace necesario diseñar procedimientos de auditoría específicos para cada rubro que establece la ley. El capítulo 2 de esta tesis se enfoca en explicar el marco legislativo y de política organizacional que se necesitan considerar en la planeación de la auditoría energética.





La Auditoría de Energía

La auditoría de la energía se define como un procedimiento sistemático para obtener un adecuado conocimiento del perfil de los consumos energéticos en una instalación, identificando y valorando las posibilidades de ahorro de energía desde los puntos de vista técnico y económico.

El objetivo general de las auditorías es valorar y analizar las necesidades energéticas de la organización auditada, integrando a todos los sistemas y equipos que forman parte de ella, y proponer soluciones de mejora en materia de ahorro de energía y de incorporación de otros tipos de energías que sean viables técnica y económicamente. Dichas valoraciones suponen generalmente mejoras en la calidad de los servicios prestados, mejoras económicas y mejoras medioambientales.

Dentro de esta idea general, los objetivos específicos que pueden plantearse son:

- ✓ Mejorar la contratación de la energía eléctrica y los combustibles.
- ✓ Optimizar los consumos energéticos.
- ✓ Reducir las emisiones por unidad de producción.
- ✓ Conocer la situación general y los puntos críticos.
- ✓ Analizar la posibilidad de utilizar energías renovables.

En particular, las auditorías permiten:

- ✓ Conocer la situación energética actual, así como el funcionamiento y eficiencia de los equipos e instalaciones.
- ✓ Inventariar los principales equipos e instalaciones existentes.
- ✓ Realizar mediciones y registros de los principales parámetros eléctricos, térmicos y de confort.
- ✓ Analizar las posibilidades de optimización del suministro de combustibles, energía eléctrica y consumo de agua.
- ✓ Analizar la posibilidad de instalar energías renovables.
- ✓ Proponer mejoras y realizar su evaluación técnica y económica.





2.1 Política de Energía de la Organización. [9]

La política de energía es una declaración formal de la alta dirección en la que se establecen los objetivos de la organización en esta materia, así como la estrategia y plazo para lograrlos.

La política debe ser documentada y comunicada a todos los niveles de la organización, revisada y actualizada regularmente, puede establecerse antes o después de una evaluación inicial del desempeño en energía y debe considerar, al menos, lo siguiente:

- Ser apropiada a la naturaleza y magnitud del uso y consumo de energía de la organización.
- Establecer objetivos claros y medibles alineados con la cultura organizacional y las prioridades de la organización.
- Asegurar la disponibilidad de la información y recursos necesarios para el logro de los objetivos establecidos.
- Asumir un compromiso con los requisitos legales aplicables y con otros relacionados con el uso y consumo de energía y que apliquen a la organización.
- Apoyar la compra de productos y servicios energéticamente eficientes y el diseño con el mejor desempeño energético.
- Incorporar un marco de referencia para revisar y actualizar la política misma ante cambios estructurales o estratégicos de la organización.

La política de energía puede establecerse antes o después de una evaluación inicial del desempeño en energía, puede ser una declaración específica o bien puede formar parte de la política integral de la organización. A continuación, se presenta un ejemplo de política de energía para el caso de declaración de política específica.





POLÍTICA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA

La organización asume el compromiso de utilizar eficientemente la energía en sus instalaciones y actividades con el propósito de preservar los recursos naturales, reducir las emisiones atmosféricas, contribuir a mitigar los efectos del cambio climático y mejorar su posicionamiento competitivo.

La organización impulsará los programas de eficiencia energética, asegurando que esta trabaja de acuerdo con los principios establecidos en esta política.

La organización establecerá objetivos y metas para la mejora del desempeño energético y la reducción de las correspondientes emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, se asegurará la disponibilidad de la información y los recursos necesarios.

La organización mejorará de manera continua el uso de los recursos energéticos en sus instalaciones y actividades durante todo el ciclo de vida de las mismas, optimizando la tecnología y diseño de los procesos, así como la operación de las instalaciones, y apoyando la adquisición de productos y servicios energéticamente eficientes.

La organización asegurará el cumplimiento de los requisitos legales vigentes, así como de aquellos otros requisitos relacionados con el desempeño energético, incluyendo: a) La eficiencia energética y b) El uso y consumo de energía, promoviendo, además, la adaptación de sus operaciones a los cambios que se pudieran producir en el marco regulatorio vigente.

La organización establecerá estándares comunes de gestión en materia de eficiencia energética en todas sus áreas y países en que opera.

Con el fin de promover la transparencia, la organización proveerá periódicamente la información sobre su consumo de energía, emisiones de GEI y grado de cumplimiento de las metas establecidas.

La organización considera que “cumplir y hacer cumplir” esta política es responsabilidad de todas las personas que participan en la organización.

Fecha __/__/ Dirección de Recursos Corporativos. Firma. _____

Figura 2. Ejemplo de política de energía para el caso de declaración de política específica. [9]





Como ejemplo para el segundo caso, en que la política de energía se incluye dentro de la política general de una organización, se reproduce una parte de la política de calidad de Pemex Refinación.

POLÍTICA DE CALIDAD EN PEMEX REFINACIÓN

Pemex Refinación es la empresa responsable de procesar, distribuir y comercializar los productos petrolíferos derivados de la refinación del crudo en el país, sus instalaciones se encuentran estratégicamente localizadas en todo el territorio nacional y sus actividades impactan en nuestra economía y en el desarrollo industrial.

En Pemex Refinación estamos conscientes de que la producción no puede hacerse a cualquier costo, el éxito presente no vale la pena a costa de convertir el futuro en destrucción, si bien, la empresa debe ser productiva y rentable, también debe estar consciente de que su desarrollo debe ser sustentable.

Estamos seguros que el desarrollo sustentable de la empresa se puede lograr a través de una Cultura de Calidad Total basada en la excelencia de sus recursos humanos que, como verdaderos líderes, sean un ejemplo a seguir, comprometidos, honestos, congruentes, actualizados y trabajando en equipo para cumplir con las metas de la organización.

En estos términos, debemos considerar que la calidad no debe circunscribirse al cumplimiento de las especificaciones pactadas, debemos también hacerlo con seguridad, protegiendo el medio ambiente, cuidando la salud de los trabajadores y haciendo un uso racional de la energía. Esta es la razón por la que la Dirección General de Pemex Refinación ha instruido a la Auditoría de Seguridad Industrial y Protección Ambiental (ASIPA), para que promueva, vigile y evalúe el correcto cumplimiento de las políticas que la empresa ha dictado en esta materia.

Figura 3. Ejemplo en que la política de energía se incluye dentro de la política general de una organización, se reproduce una parte de la política de calidad de Pemex Refinación. **[10]**





En la evaluación realizada del periodo 1994-2000 del Plan de Negocios de Pemex Refinación, se identificó que en materia de calidad, seguridad industrial y protección ambiental se cumplieron y en algunos casos se rebasaron las metas establecidas.

Somos una empresa de calidad certificada internacionalmente y con programas de mejora continua.

El nuevo Plan de Negocios 2001-2006, destaca la importancia que tiene el continuar implantando sistemas de: Gestión de Calidad, Seguridad Industrial, Protección Ambiental, Salud Ocupacional y Uso Racional de la Energía. Nuestra visión es "Cero accidentes, Cero afectaciones al medio ambiente y Clientes 100% satisfechos" todo esto apoyado por un programa intensivo de cuidado de los recursos humanos.

El Control de la Calidad y la inspección, si bien identificaban los productos fuera de especificación, no resolvían los problemas de origen, los costos resultaban altos tanto por productos rechazados como por reprocesos, el impacto fue directo sobre la productividad y rentabilidad e imagen de la empresa.

En el periodo de 1990 a 1993 se observó en Pemex Refinación acciones tendientes a implantar mejores prácticas para cuidar la calidad y para reducir los costos, entre ellas podemos destacar los programas para implantar una Cultura de Calidad Total primordialmente en las refinerías; en este programa se formaron círculos de calidad que dieron como beneficio la capacitación de algunos mandos medios y el involucramiento de los trabajadores. Finalmente, estos grupos desaparecieron por falta de un involucramiento de toda la organización, las propuestas de los trabajadores no fueron atendidas y se perdió la motivación para identificar áreas de oportunidad de mejora de la calidad.

Continuación Figura 3. Ejemplo en que la política de energía se incluye dentro de la política general de una organización, se reproduce una parte de la política de calidad de Pemex Refinación. **[10]**





Como respuesta a esta problemática y con el fin de propiciar el involucramiento de todas las áreas de la empresa, a partir de 1993 se formó en Pemex Refinación una Superintendencia de Sistemas de Calidad que dependía de la Subdirección de Planeación, cuya misión fue lograr la implantación de sistemas de calidad basados en la norma internacional ISO 9000 en todos los centros de trabajo que integran la cadena productiva. Su primera actividad fue capacitarse en el uso de la Norma y establecer la metodología para la certificación de los sistemas de calidad de los centros de trabajo y se tomó como programa piloto a la Refinería Miguel Hidalgo y al Centro Embarcador de Tula Hgo. (Ahora Terminal de Almacenamiento y Distribución de Tula Hgo.).

Cabe destacar que en este año se logró la certificación de toda la cadena productiva de Pemex Refinación, todos los centros de trabajo están certificados, la Norma seleccionada es el de ISO 9002, tenemos además 2 áreas que fueron certificadas con la Norma ISO 9001: La propia ASIPA que certificó los servicios que proporciona de Seguridad Industrial, Protección Ambiental, Salud Ocupacional, Uso Racional de la Energía y Consultoría en Calidad y la Gerencia de Estaciones de Servicio que certificó la Administración del programa de la franquicia PEMEX.

A la fecha Pemex Refinación cuenta con 261 sistemas de calidad certificados, 248 corresponden a centros de trabajo que integran la cadena productiva y 13 a Oficinas de Subdirecciones y Gerencias.

Para el próximo año del 2001 tenemos como meta el terminar con la certificación de todo Pemex Refinación, nos falta certificar a la Subdirección de Proyectos (avance estimado del 90%), la Subdirección de Distribución (avance estimado del 20 %), la Gerencia de Operación y Mantenimiento Marítimo (avance estimado del 35%) y las Subdirecciones de Planeación y Finanzas y Administración.

Continuación Figura 3. Ejemplo en que la política de energía se incluye dentro de la política general de una organización, se reproduce una parte de la política de calidad de Pemex Refinación. **[10]**





La implantación y certificación de sistemas de calidad ha sido un acierto, actualmente ya estamos viendo los resultados de nuestro esfuerzo, nuestros clientes han expresado su satisfacción por la mejora en los productos y servicios que les proporcionamos, la productividad, rentabilidad y calidad de vida de todos los trabajadores ha mejorado y hemos sentado las bases para emprender y conseguir mayores retos. Estamos conscientes de que aún nos falta camino por recorrer para lograr ser una empresa de Excelencia y de Clase Mundial, pero estamos motivados y seguros de que lo vamos a lograr.

Continuación Figura 3. Ejemplo en que la política de energía se incluye dentro de la política general de una organización, se reproduce una parte de la política de calidad de Pemex Refinación. **[10]**





2.2 La Pirámide de Kelsen. [11,12]

En general, los sistemas de gestión de la calidad, ambiental, energía, etc., se diseñan y operan con varios objetivos; dentro de ellos, asegurar que la organización satisfaga los requisitos que les son aplicables establecidos por leyes, reglamentos, estatutos, etc., de diversos tipos.

El apartado 4.4.2 de la Norma ISO 50001 “Requisitos legales y otros”, correspondiente a la etapa de planeación del sistema de gestión ISO 50001, establece que la política de energía de la organización y en consecuencia la operación de la organización en esta materia, debe diseñarse de manera que asegure se satisfagan los requisitos legales y otros aplicables a la organización.

Las empresas industriales mexicanas en el ramo de extracción, procesamiento y comercialización de petróleo y gas natural están sujetas a leyes y ordenamientos diversos, que tienen que ver con el trabajo y previsión social, ecología y sustentabilidad, energía, etc.

Las leyes, ordenamientos legales, ordenamientos sociales para el funcionamiento industrial, convenios comerciales nacionales e internacionales relacionados con el uso y aprovechamiento de la energía, no son independientes de los aplicables a la conservación del medio ambiente, higiene y seguridad industrial, tratados de comercio, etc., de manera que, para diseñar correctamente la política de energía, se necesita conocer a fondo los ordenamientos jurídicos y otros de tipo social, debidamente ordenados en cuanto a su aplicación y jerarquía.

La teoría del ordenamiento jurídico de Kelsen supone que en este no existen normas incompatibles entre sí y se define como el conjunto pleno, jerarquizado y coherente de las normas jurídicas que rigen en un espacio y tiempo determinados.

La pirámide indica la estructura jerárquica de un ordenamiento jurídico. En ella, la estructura se arregla de modo que el máximo poder y la jerarquía se concentran en la cúspide y desciende gradualmente hacia la base.



La figura 4 indica el ordenamiento jurídico aplicable en nuestro país, en el que la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos es la ley suprema de la nación, seguida de los acuerdos internacionales vigentes suscritos por nuestro país, etc.



Figura 4. Ordenamiento jurídico de Kelsen.
Elaboración propia con información de [11]

Ya se ha mencionado que la política de energía de la organización debe ser apropiada a la naturaleza y magnitud del uso y consumo de energía de la organización y también asumir un compromiso con los requisitos legales aplicables y con otros relacionados con el uso y consumo de energía y que apliquen a la organización.



En el caso de Pemex, los requisitos legales y otros que debe cumplir son muy numerosos. A continuación, se enlistan las leyes, algunos reglamentos de interés y Tratados Internacionales, mencionados en el marco normativo de la empresa, antes de la Reforma Energética de diciembre de 2013, disponible en su página electrónica. [13]

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
- Ley Reglamentaria del artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo
- Ley Orgánica de la Administración Pública Federal
- Ley Federal de Entidades Paraestatales
- Ley General de Bienes Nacionales
- Ley de Adquisiciones, Arrendamiento y Servicios del Sector Público
- Ley Federal de Procedimiento Administrativo
- Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y sus reglamentos en materia de Auditoría Ambiental, Evaluación del Impacto Ambiental, Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera y otros.
- Ley Federal sobre Metrología y Normalización
- Ley Federal de Derechos
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos y su reglamento.
- Ley de Ingresos de la Federación para el ejercicio Fiscal de 2015
- Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria
- Ley del Impuesto a los Depósitos en Efectivo
- Ley de Petróleos Mexicanos
- Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética
- Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
- Ley de la Comisión Reguladora de Energía
- Ley de la Propiedad Industrial
- Ley Minera
- Ley de Expropiación

Figura 5 Leyes mencionadas en el marco normativo de Pemex antes de la Reforma energética de diciembre del 2013. [13]



Ley de Navegación y Comercio Marítimo
Ley de Asociaciones Público Privadas
Ley Federal Anticorrupción en Contrataciones Públicas
Ley Federal de Responsabilidad Ambiental
Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las mismas
Ley de Inversión Extranjera
Ley de Hidrocarburos
Ley de Ingresos sobre Hidrocarburos
Ley de Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética
Ley del Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo
Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos
Ley Federal de Archivos

Continuación Figura 5 Leyes mencionadas en el marco normativo de Pemex antes de la Reforma energética de diciembre del 2013. **[13]**

Tratado de Libre Comercio de América del Norte. Capítulo X Compras del Sector Público
Decreto Promulgatorio del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas
Convenio Internacional para la Prevención de la Polución de las Aguas del Mar por Hidrocarburos

Figura 6 Tratados Internacionales mencionadas en el marco normativo de Pemex antes de la Reforma energética de diciembre del 2013. **[13]**

Posterior a la Reforma Energética de diciembre de 2013, la antes Empresa Paraestatal Pemex se convirtió en Empresa Productiva del Estado Mexicano y su marco normativo y regulatorio cambió, quedando como leyes regulatorias las siguientes:

Ley de Petróleos Mexicanos
Ley de la Comisión Federal de Electricidad
Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética
Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector de Hidrocarburos.

Figura 7 Leyes regulatorias de Pemex después de la Reforma energética de diciembre del 2013. **[13]**

El 11 de agosto de 2014 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el decreto por el que se aprueban las siguientes leyes secundarias:

Ley de Hidrocarburos
Ley de Inversión Extranjera
Ley Minera
Ley de Asociaciones Público Privadas
Ley de Ingreso sobre Hidrocarburos
Ley del Fondo Mexicano para la Estabilización y el Desarrollo
Ley de la Industria Eléctrica
Ley de Energía Geotérmica

Figura 8 Leyes secundarias aprobadas **[13]**

El análisis del marco normativo en el caso de México para la industria del petróleo y gas natural es un asunto complejo, es difícil que lo pueda abordar exitosamente alguien que no sea especialista, requiere de participación interdisciplinaria de expertos; el ordenamiento jurídico entrelaza leyes federales, acuerdos internacionales, leyes estatales, convenios sociales, normas internacionales y nacionales, entre otros.

Lo que queda claro es que hoy en día no es posible diseñar y operar sistemas de gestión de energía al margen de otros sistemas como son los de calidad y ambiental, la norma ISO 50001 se concreta a mencionar que el SGE se diseñe y opere en compatibilidad con otros posibles sistemas de gestión que requiera la organización.



Instalar un sistema de gestión que integre al menos la calidad, el medio ambiente, y la energía es un reto administrativo muy interesante y excede el alcance de las normas existentes hasta la fecha.





2.3 Diseño General de la Auditoría de Energía (AE). [2,9]

La auditoría en energía inicial practicada a la organización, dará la pauta para el arranque de las etapas 4.5 a 4.7 (hacer, verificar, actuar) del sistema de Gestión Energética, engendrando así el ciclo de mejoramiento continuo que indica la norma ISO 50001.

Las características particulares de cada organización y de su entorno son muy variables, de manera que no es posible que la norma imponga procedimientos, acciones, definiciones, parámetros, criterios, etc., invariables para instalar un SGE en una determinada organización. Para realizar con éxito las acciones que conduzcan a lograr satisfacer los requerimientos estructurales que la norma específica, es necesario diseñarlas e instrumentarlas de acuerdo al caso específico de la organización de que se trate.

Con anterioridad al comienzo de la auditoría de energía, es aconsejable desarrollar un “mapa visual” donde queden reflejadas las distintas etapas a realizar y su secuencia en el proceso (ver figura 9)



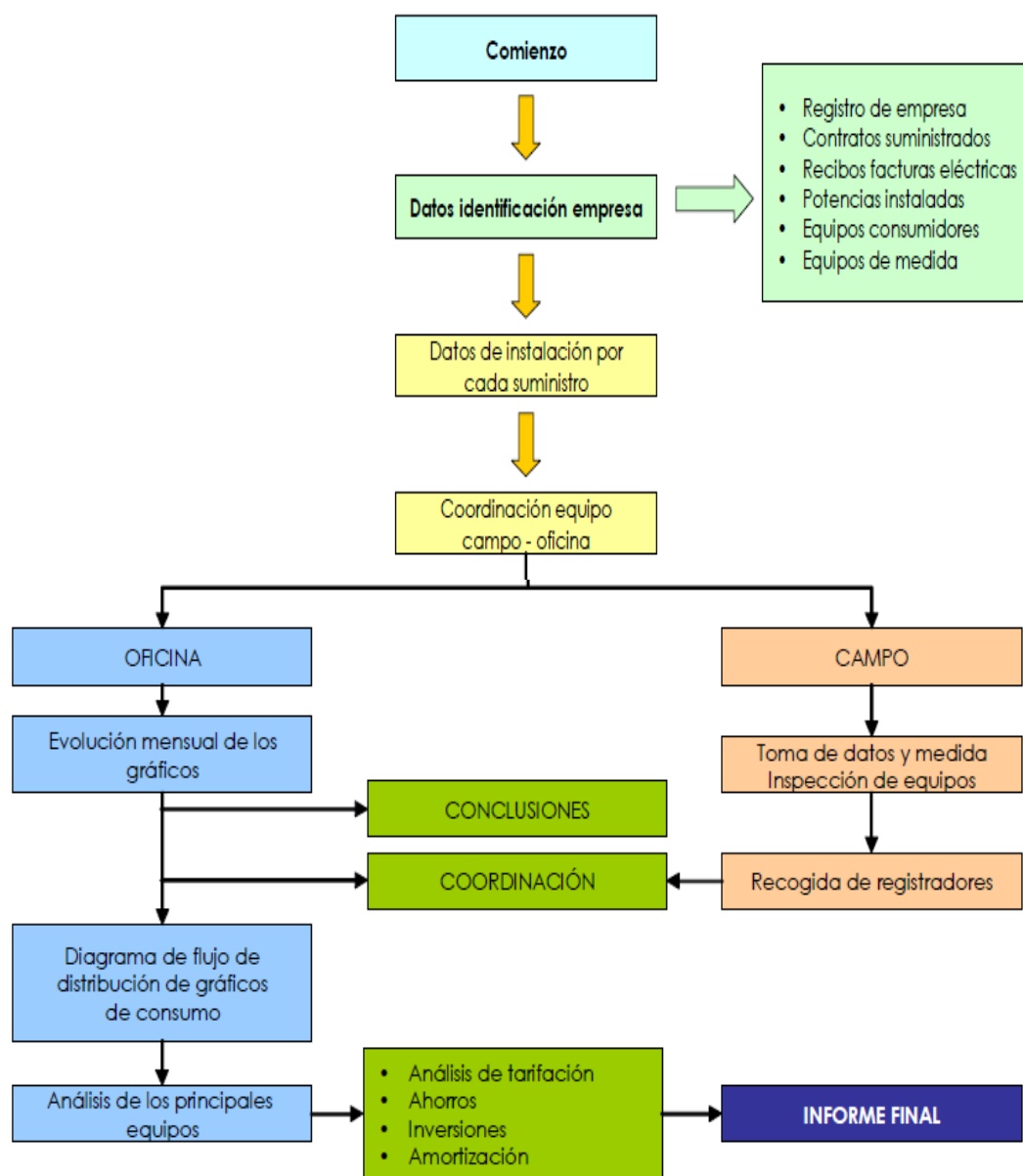


Figura 9. Mapa conceptual de una Auditoría de Energía. [9]

Responsabilidad de la entidad auditora. En general, el equipo auditor estará compuesto por un auditor responsable, que será quién firme la auditoría, y en el podrán participar otros auditores. Cada auditor integrante del equipo deberá contar con un perfil profesional que cumpla, al menos, con los siguientes requisitos: Título de grado medio, superior o posgrado en áreas relacionadas con la energía y conocimientos comprobados en:



Procedimientos y técnicas generales de auditoría
Normatividad sectorial o en energía
Técnicas y tecnologías de ahorro de energía
Sistemas de energías renovables

Es recomendable que la AE la realice una entidad solvente y de preferencia independiente de la organización. Si se trata de una auditoría interna, el equipo auditor perteneciente a la organización tendrá como líder al representante de la Dirección, si se trata de una auditoría externa, el auditor líder deberá ser una persona acreditada en sistemas de gestión.

La solvencia técnica se demuestra con referencias demostrables de los trabajos de previas auditorías realizadas, en los que conste que maneja confiablemente los instrumentos y técnicas de medición, así como registro, interpretación y análisis de datos, su comunicación a los diferentes niveles de responsabilidad y resguardo.

La ética e independencia se demuestra mediante un compromiso de confidencialidad del manejo de la documentación e información a la que tenga acceso, obligándose a mantener el secreto de toda la información que conozca en el ejercicio de su actividad.

El auditor líder y su equipo de trabajo se obligan a enterar al representante de la dirección de cualquier evento o incidencia que limite o dificulte el proceso de auditoría y a mantener en todo momento, actitud positiva y proactiva ante las eventualidades que pudieran presentarse.

A grandes rasgos, los pasos a seguir en el desarrollo de una AE son:

- La organización selecciona la entidad auditora.
- Acuerdo entre la Dirección de la Organización y la entidad auditora sobre los objetivos, alcance y limitaciones de la auditoría.





- Acuerdo entre la Dirección y la entidad auditora sobre tiempo de realización, costos y suministro de recursos humanos y materiales.
- Realización de la auditoría contando con el acuerdo entre la dirección y la entidad auditora de las etapas y su realización en tiempo y forma, que puede incluir: a) sensibilización al personal, b) levantamiento de inventario y definición de variables, c) mediciones y levantamiento de información de campo, d) análisis de resultados, e) registro estadístico de información, f) escritura del informe.
- Presentación del informe técnico económico final por parte de la entidad auditora.

Se recomienda que la AE se realice en las siguientes etapas:

- Planeación de la auditoría, objetivos, alcances y limitaciones de acuerdo a los apartados de la norma ISO 50001:
 - 4.4.3 Revisión energética,
 - 4.4.4 Línea base energética,
 - 4.4.5 Indicadores de desempeño energético
- Levantamiento general de datos e información de la situación actual, incorporando además el apartado de la norma ISO 50001:
 - 4.4.6 Objetivos y metas energéticas.
- Sistematización de los datos, análisis y tratamiento de la información de tal manera que permita el diagnóstico de la situación actual y la detección de oportunidades de mejora, incorporando además el apartado de la norma ISO 50001:
 - 4.4.6 Objetivos energéticos, metas energéticas, planes de acción de GE.
- Propuesta de mejoras con enfoque técnico económico, aportando las sugerencias de optimización y ahorro en el uso y consumo de energía de la organización, de acuerdo a los apartados de la norma ISO 50001:





4.4.6 Objetivos energéticos, metas energéticas, planes de acción de GE.

Como se observa, la norma ISO 50001 no establece de manera explícita la necesidad de realizar auditorías, en vez de eso recurre al concepto sistémico de apoyarse en una línea base en el tiempo como punto de partida para, de allí en adelante, realizar mejoras sucesivas que engendren el ciclo de mejora continua.

Cuando se cuenta con auditorías anteriores, se tiene la ventaja de disponer de los registros de datos en los formatos que ya fueron diseñados, facilitando y acortando el tiempo de ejecución para la etapa de levantamiento de los mismos. Los resultados actuales servirán como retro alimentación al SGE y con ello será posible detectar nuevas oportunidades de mejora y ahorro, o bien mantener y/o incrementar la tendencia al ahorro de energía.

Las etapas de realización no son secuenciales, a la vez que se hacen las mediciones, es necesario registrarlas y darles tratamiento, y provocar la lluvia de ideas entre los integrantes del equipo auditor y los trabajadores de la organización para que surjan propuestas de optimización y ahorro. Debe subrayarse la importancia de que los integrantes del equipo auditor tengan una orientación interdisciplinaria a la vez que posean sólidos conocimientos y experiencia en el área técnica de la energía.

El equipo auditor deberá conseguir la confianza de los interlocutores designados por la organización. Para ello, es necesario que los trabajadores conozcan el alcance y objetivos de la auditoría que se está realizando y que los auditores presten la debida atención a las preguntas y sugerencias del personal de la organización.

A la vez que se hace el diseño del levantamiento de datos y las correspondientes mediciones, el equipo auditor debe interactuar con el personal de la organización demostrándole que las preguntas y observaciones que se les hacen durante el





transcurso de la auditoría no son para “criticar, reprobar o aprobar” lo existente, son con la intención de conjuntar opiniones para obtener respuestas consensuadas.

El auditor debe demostrar estar convencido de que la organización y sus trabajadores se benefician del ahorro de energía debido a que: a) si disminuyen los costos de energía también lo hacen los costos de operación y por lo tanto mejora la eficiencia y competitividad de la organización y b) que ahorrar energía y combustibles significa disminuir la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, entre otros.

Es importante mencionar que la interacción eficiente de los auditores con los miembros de la empresa contribuye a consolidar los datos obtenidos, obtener información concreta sobre las fallas o aciertos de operación, obtener lecturas de datos rápidas y confiables, y en general obtener un acervo de conocimientos sobre la operación, clima y cultura organizacional, que podrían concretarse en importantes oportunidades de mejora y ahorro para la organización.





Capítulo 3

Organización de la Auditoría. [6,8,9]

Organizar una AE no es una tarea sencilla, entre otros factores esto se debe a que las características particulares de una organización en lo técnico, en lo social y en su relación con el entorno son muy variables. Consciente de esta realidad, el líder auditor, aparte de los conocimientos específicos de su área, debe, en primer lugar, conocer “el terreno que pisa y su contexto”; las instalaciones donde se usa y consume energía, el compromiso de los mandos de la organización con la gestión, los hábitos y procedimientos a los que el personal está acostumbrado, etc.

Lograr realizar una auditoría exitosa en la que se invierte tiempo y dinero es una tarea gradual, la primera meta es hacer un diagnóstico inicial que sirva de base y referencia a todas las acciones que se emprenderán al instalar y operar un SGE y para ello es indispensable lograr la colaboración eficaz del personal de la organización a todos niveles.





3.1 Estudio de la Línea Base. [5,7]

El objetivo de esta actividad es, con un enfoque sistémico comprender, medir y evaluar los procesos y sistemas de la organización en los que se usa y consume energía, su inter relación, las variables que lo modifican y determinan para, finalmente y de acuerdo con la política de la organización y utilizando la tecnología adecuada, identificar oportunidades de mejora, diseñar la estrategia y metodología y acciones de gestión que conducirán a optimizar y ahorrar el uso y consumo de energía.

Por uso de la energía se entiende la aplicación a que se destina, por ejemplo, iluminación, enfriamiento, calentamiento, ventilación, etc.

Por consumo de energía se entiende la cantidad de energía utilizada en una determinada aplicación. Puede referirse a la cantidad total en unidades de masa, volumen o unidades de energía como BTU, J, KWh, etc., y también puede referirse a consumo por unidad de tiempo, por unidad de masa, unidad de volumen, o alguna otra unidad de referencia conveniente.

Por eficiencia se entiende la relación cuantitativa entre la salida o resultado de una aplicación o proceso y la cantidad de energía entregada a este.

Para determinar la línea base hay que medir y documentar el perfil de uso y consumo de energía dentro de la organización, reuniendo toda la información de los consumos de energía provenientes de las diferentes fuentes y analizándola para evaluar si está funcionando adecuadamente y en qué áreas de los procesos se concentra el uso significativo.

Con la información anterior, se tendrá la información necesaria para definir los indicadores de desempeño del SGE, así como concluir la etapa de planeación del mismo afinando los objetivos, metas y planes de acción.





El primer paso de la revisión energética consiste en identificar las fuentes de energía utilizadas por la organización dentro de los límites y alcances definidos para el SGE. Las fuentes de energía pueden ser variadas, incluyendo combustibles, electricidad, vapor, calor, aire comprimido, entre otros. Es posible que existan fuentes de energía, tales como el aire comprimido, vapor y calor, que no sean consideradas como tales, debido a que sean generadas por la misma organización. Sin embargo, es posible hacer gestión energética importante sobre estas fuentes de energía secundaria. Además, el uso eficiente de este tipo de energía puede dejar capacidad para reemplazar otro tipo de consumo de energía.

Una vez identificadas las fuentes de energía, se procede a recolectar datos de consumo de cada fuente de energía y de los usos de ellas. Los métodos de medición y manejo de estos datos dependen generalmente del rubro de la empresa, su tamaño y de la importancia relativa, en términos de costos, del consumo energético y de los usos asociados a éste.

En organizaciones en que la gestión de la energía es de forma general, sin entrar en detalle, puede que la información del consumo energético esté dispersa dentro de la organización o sólo sea manejada por áreas relacionadas a la contabilidad y finanzas.

Debido a que la norma ISO 50001 establece como requisito la documentación de la metodología por medio de la cual se desarrolla la revisión energética, es recomendable que, como producto de la primera auditoría, se formula un procedimiento formal para la adquisición, registro y almacenamiento de los datos de consumo de energía. Este puede extenderse a las variables que afectan el desempeño energético e incluye listados de datos requeridos, su localización, las personas o fuentes de mantenimiento de los datos, frecuencia de adquisición desde la fuente, lugar de almacenamiento y forma de registro y disseminación.





3.2 Adquisición de la Información. [8,14]

La adquisición y evaluación de los usos y consumos de energía, de preferencia selecciona y desagrega los consumos en cada una de las aplicaciones de la energía. Para esto, es importante conocer y comprender en detalle las aplicaciones de la energía dentro de la organización. Con este fin se recomienda:

- Obtener diagramas de flujo y listados de los equipos
- Agrupar los equipos y procesos en forma lógica, por ejemplo, agrupar determinados equipos en áreas, subáreas, etc.
- Obtener datos de diseño de los equipos, por ejemplo, las placas de los motores, horas de operación, factores de carga, entre otros. En algunos casos se cuenta con la medición directa del consumo de energía de equipos y sistemas.

El nivel de agregación (áreas, líneas de proceso, equipos, etc.) de estas aplicaciones está directamente relacionado con la capacidad tecnológica para medir o estimar el consumo de energía. Si no se cuenta con medición directa, es posible estimarlo considerando la información de diseño (potencia, eficiencia) y de la operación (horas de operación, datos climáticos).

En la organización puede haber varias fuentes de energía, es posible realizar evaluación por cada tipo o en forma consolidada, si es el caso transformarla a una unidad común de energía. Se debe tener cuidado y, en la medida de lo posible, evitar sumar fuentes de energía primarias (diesel, gas natural, etc.) con fuentes secundarias puesto que se puede caer en una doble contabilización y errores de interpretación. Por ejemplo, si en la misma organización se genera energía eléctrica a partir de gas natural, al sumar directamente la energía eléctrica y el gas natural se incurre en un doble conteo.

Para asegurar que la evaluación del consumo es correcta, así como detectar





potenciales pérdidas de energía, es recomendable realizar los balances de energía necesarios. Para el caso de la energía eléctrica, en el supuesto de que se cuente con medición del consumo eléctrico general y distribuido por equipo y procesos, es conveniente hacer un balance considerando las pérdidas inherentes por la conducción y la eficiencia de los equipos.

Identificación de usos significativos.

Los usos significativos de energía son aquellos que tienen un alto consumo relativo y/o que ofrecen un alto potencial de mejora en el desempeño, por lo que son los puntos en los que la organización debe enfocar su gestión.

La norma ISO 50001 permite que la organización sea la que determine el criterio para definir qué es significativo. Lo más común es identificar los usos significativos de energía basándose en aquellos que tienen el mayor consumo de energía, o bien, en términos de costo. Sin embargo, si una organización tiene un elevado grado de madurez en la gestión de la energía o ya ha identificado oportunidades de mejora en aquellas áreas de mayor consumo, puede definir como áreas de uso significativo aquellas donde el potencial de mejora del desempeño sea mayor.

En la industria, la regla 80/20 o Principio de Pareto es una metodología ampliamente aplicada como criterio de selección. En términos estadísticos, este Principio supone que existe un 20% de la población que ostenta el 80% de algo, mientras que el 80% restante de la población sólo ostenta el 20%. Aplicado como criterio para determinar usos significativos de energía, se puede suponer que existe un 20% de puntos de consumo que representan el 80% del consumo, por lo que estos se denominan significativos.



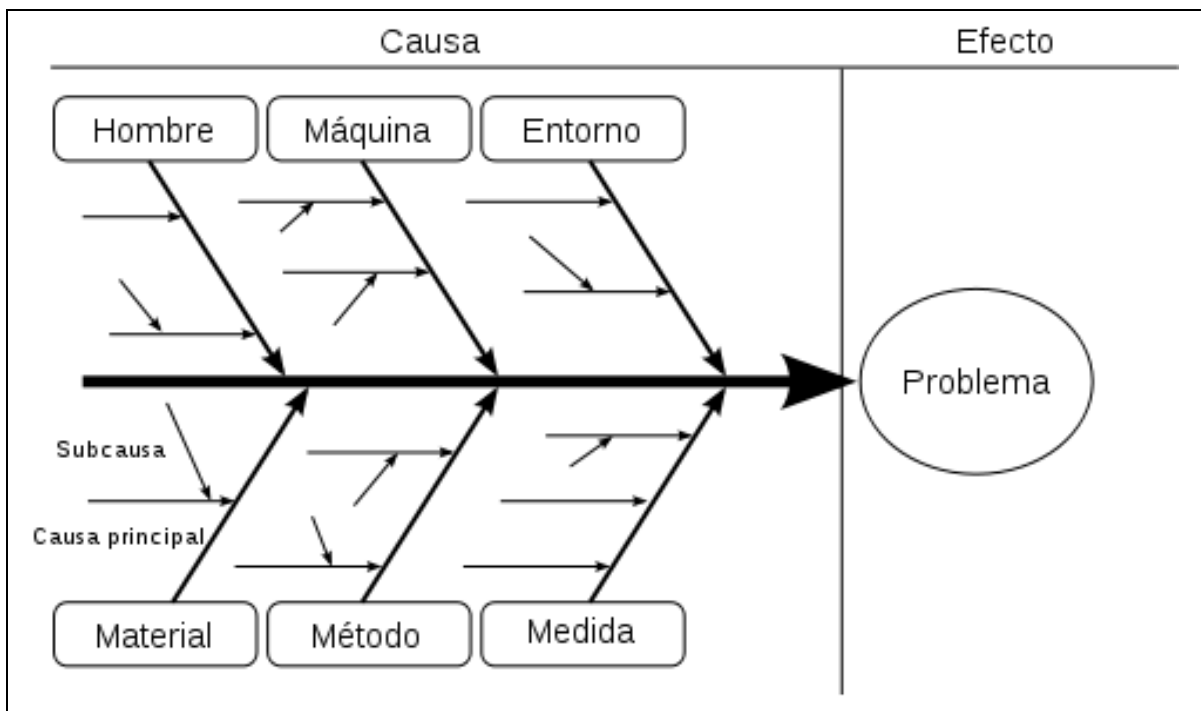


Figura 10. Diagrama de Pareto. [14]

Dependiendo del tipo y tamaño de la organización que se audite, será necesario o no, aplicar técnicas estadísticas de adquisición, registro y análisis de datos. El experto estadístico decidirá lo que conviene en cada caso, de acuerdo al objetivo y alcance de la auditoría.

En el sector de grandes industrias, donde el consumo de energía es uno de los costos operacionales importantes, es común el uso de software para el manejo centralizado de la información, tales como *PI System* y *SAP*, entre otros. El uso de este tipo de software facilita la consolidación de la información energética relevante.

Puede suceder que para la medición se requieran campañas de muestreos, calibraciones, uso de equipo y software específico, etc., y para el tratamiento de ella, se necesiten análisis de regresión, análisis de varianza, contraste de hipótesis, etc. Hay que tomar en cuenta que la auditoría cuesta dinero y que su costo depende del grado de especialización y nivel experto del personal, así como el tiempo de



duración, entre otros.

Una vez que se ha completado la etapa de adquisición y registro de datos, se procede a analizarlos e identificar la línea base de energía y las oportunidades de mejora, así como escribir el reporte de auditoría. Dentro de las diferentes posibilidades para identificar las oportunidades de mejora cabe mencionar las siguientes:

Ideas de miembros de la organización. Los operarios y personal de supervisión y control de la operación son especialistas en los procesos que manejan y conocen diferentes de la industria, generalmente tienen ideas de oportunidades de mejora. Lo importante es generar los mecanismos de comunicación para que sean debidamente atendidas por el equipo auditor que se encargará de presentarlas a los niveles de la organización que correspondan.

Estándares de equipamiento. Existen estándares de equipos que mejoran la eficiencia energética, un ejemplo conocido es el de motores con sello de garantía de eficiencia, dotados con controles de velocidad. Es importante estar al tanto de este tipo de estándares de equipamiento, por lo que es recomendable que dentro del equipo auditor se cuente con personal experto en mantenimiento industrial y desarrollo de proyectos.

Diagnóstico por comparación (*Benchmarking*). Las tecnologías de información y comunicación permiten consultar experiencias de proveedores, usuarios y agrupaciones de profesionistas que se pueden incorporar al acervo de experiencia técnica de la organización a muy bajo costo.

No se requiere que el líder del equipo auditor externo sea un técnico experto en los procesos de manufactura o producción de que se trate, es suficiente con tener un conocimiento general de ellos, lo que si se requiere y es imprescindible, es que tenga la habilidad y competencia para trabajar eficaz y eficientemente en equipo





con el representante de la dirección y el (los) miembros de su equipo de trabajo, responsables de la auditoría al interior de la organización, quienes conocen a profundidad su funcionamiento y características.

En el caso de la industria del petróleo y el gas asociado, es indispensable que todo miembro del equipo auditor (interno o externo) conozca el funcionamiento de plantas químicas industriales de transformación de estas materias primas. Como antecedente, antes de presentar en esta tesis la descripción de posibles oportunidades de mejora en energía en las industrias del ramo, es conveniente dedicar un espacio al funcionamiento en general de una refinería de petróleo.





3.3 Funcionamiento de una Refinería de Petróleo. [16,17]

Una refinería moderna es un sistema altamente complejo e integrado de separación y transformación de petróleo crudo en una amplia variedad de productos, incluyendo los combustibles de transporte, aceites combustibles residuales, lubricantes, entre otros. Todas las refinerías del mundo son prácticamente iguales en cuanto a los procesos y secuencia de transformaciones físicas y químicas a que se somete el petróleo crudo.

El avance tecnológico en esta actividad industrial se realiza mediante las contribuciones y experiencias de instituciones de investigación y refinerías que operan en diversos países. Las universidades, instituciones de investigación y compañías de servicios especializadas aportan descubrimientos, innovaciones y diseños de procesos y equipos cada vez más eficientes y exitosos, que finalmente se incorporarán a las refinerías existentes o bien a la construcción de nuevas instalaciones. A su vez, el funcionamiento de las unidades industriales modernizadas aporta la retro alimentación necesaria para la innovación y desarrollo tecnológico, engendrando así un círculo virtuoso de mejora continua, siempre dentro de un mercado global dinámico. Esto hace que la industria de la refinación sea una actividad muy competitiva en la que el rezago tecnológico y la obsolescencia de las instalaciones puede significar el cierre de operaciones.

Los responsables a nivel gerencial de las refinerías deben mantenerse siempre informados de los desarrollos tecnológicos que ocurren en el mercado globalizado de la refinación y valorar eficientemente, en términos de costo beneficio, el desarrollo o adquisición e instalación de aquellos avances tecnológicos que le permitan mantenerse competitivos en el mercado. En el mercado global de la refinación, el diagnóstico por comparación (*benchmarking*) del desempeño de una refinería y la vigilancia en mantener los menores costos de operación, son actividades muy importantes y permanentes.





Las refinerías modernas han desarrollado sistemas integrados y complejos en los que los hidrocarburos no solo se separan en diferentes fracciones mediante la destilación, sino además se transforman químicamente y se mezclan para obtener una amplia gama de productos. La estructura global de la industria de la refinación ha cambiado debido a la menor disponibilidad en el mercado internacional de crudos ligeros y en consecuencia la necesidad de procesar crudos más pesados, así como a la creciente demanda de combustibles y petroquímicos más amigables con el medio ambiente entre otros factores. Esto ha llevado a refinerías cada vez más complejas con una mayor capacidad de conversión del crudo alimentado, lo que a su vez determina el aumento en el consumo de energía por barril de crudo procesado.

La figura 11 es un diagrama de flujo simplificado de una refinería moderna. La secuencia de procesos es la misma en cualquier instalación en el mundo, aunque el flujo de las corrientes intermedias entre los diferentes procesos puede variar. Los procesos de mayor consumo de energía son las Unidades de Destilación Atmosférica y de Vacío, Hidrotratamiento, Reformación, Cracking Catalítico Fluido, e Hidrocracking. A continuación, se hace una breve descripción de los procesos incluidos en una refinería.



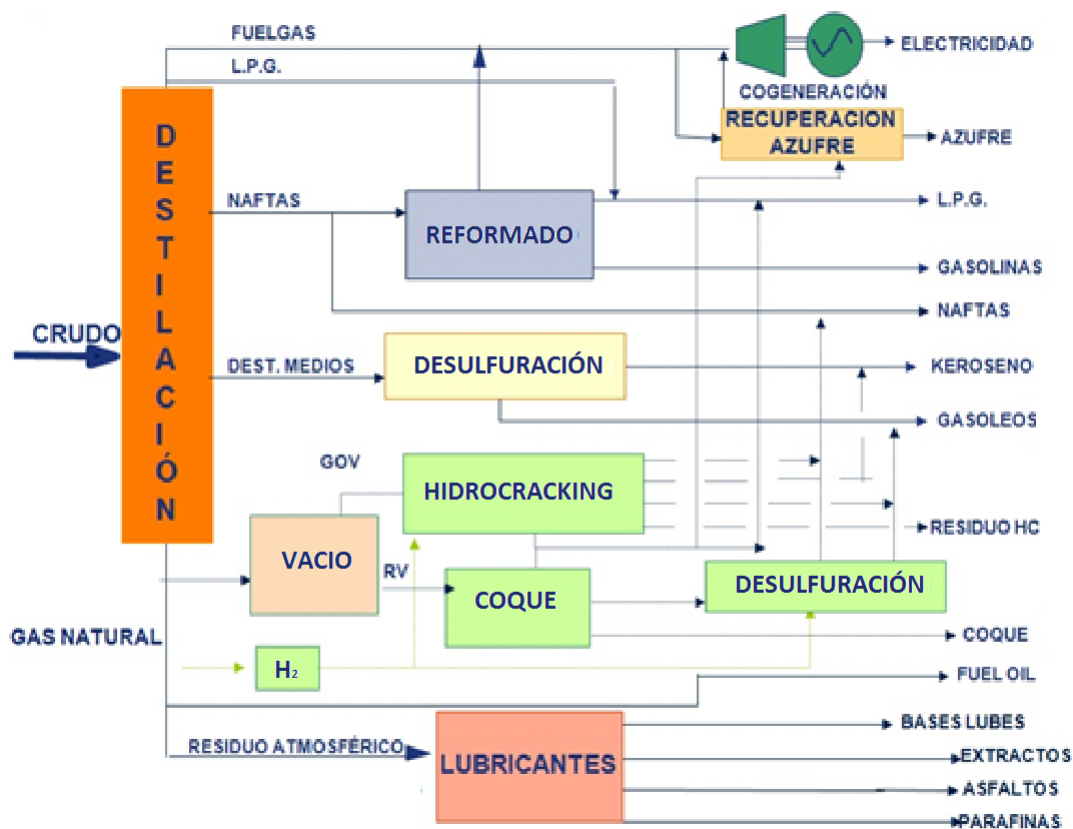


Figura 11. Diagrama de Flujo simplificado del proceso de refinación y del flujo de productos. [15]

Desalinización.

Si el contenido de sal en el crudo es superior a 10 lb/1000 barriles de petróleo, el crudo requerirá de desalación. La desalación reducirá la corrosión y minimizará el ensuciamiento de las unidades de proceso, así como los intercambiadores de calor.

Generalmente los crudos más pesados contienen más sales, haciendo al desalado más importante en las refinerías actuales y futuras. La sal se remueve del crudo con agua del 3-10 % a temperaturas de 90-150 C. Las sales se disuelven en el agua, y una corriente eléctrica se utiliza para separar el agua y el aceite. Este proceso también elimina los sólidos en suspensión. Los diferentes procesos de desalado varían en la cantidad de agua utilizada y el campo eléctrico utilizado para la separación del aceite y el agua. La eficiencia del proceso depende del pH, densidad,



viscosidad y el contenido de sal en el petróleo crudo, así como del volumen de agua utilizada. El consumo de electricidad varía entre 10 y 20 Watt*h/barril de petróleo crudo tratado.

Unidad de Destilación Atmosférica UDA's (*Crude Distillation Unit UDA*)

En todas las refinerías, el petróleo crudo desalado y pre-tratado se separa en tres fracciones principales de acuerdo con sus intervalos de ebullición mediante destilación fraccionada. El aceite crudo se calienta en un horno a aproximadamente 390 C, y posteriormente se introduce a una torre de fraccionamiento o destilación. La mayoría de las UDA's utilizan calentamiento en dos etapas. En la primera, las corrientes de gas caliente del reflujo y las de productos se utilizan para calentar el crudo desalado a aproximadamente 290 C. En la segunda, se utiliza un horno de combustión de gas a 400 C. La alimentación se introduce a la torre de destilación a temperaturas entre 340-390 C. La eficiencia energética del proceso de calentamiento se puede mejorar mediante el uso de una bomba de reflujo en los platos inferiores de la columna.

En la torre, los diferentes productos se separan de acuerdo a sus puntos de ebullición. El punto de ebullición es una buena estimación del peso molecular de los diferentes productos. La gasolina, con moléculas relativamente pequeñas, hierve entre 70 y 140 C, mientras que la nafta, de mayor peso molecular, tiene un punto de ebullición entre 140 y 180 C. Las torres de destilación generalmente contienen 30-50 platos de fraccionamiento. El número de platos depende del grado de separación y la pureza de los productos deseados.

La fracción más ligera incluye gas combustible, GLP y gasolina y se obtiene en la parte superior de la columna de destilación. La fracción media incluye queroseno, nafta y aceite diésel. Las fracciones medias se utilizan para la producción de gasolina y queroseno. La nafta se lleva al reformador catalítico o se utiliza como materia prima para la industria petroquímica.

Las fracciones más pesadas son el combustóleo y una fracción de fondo, que tiene el valor más bajo. El combustóleo se puede procesar adicionalmente en la unidad





de conversión para producir productos más valiosos. Alrededor del 40% de los productos de la UDA (en base a energía) no se puede utilizar directamente y se introducen en la unidad de destilación al vacío (UDV), donde la destilación se realiza a baja presión.

Debido a que en la UDA se procesa todo el petróleo crudo entrante, este proceso consume gran cantidad de energía, aunque este consumo en términos intensivos, por ejemplo, cantidad de energía por barril de crudo procesado es menor comparado con los posteriores procesos de conversión. Las oportunidades de eficiencia energética consisten en mejorar el intercambio de calor y optimizar su recuperación. La integración de los procesos de transferencia de calor es una buena forma de lograr lo anterior.

Unidad de Destilación al Vacío (UDV) o Unidad de Alto Vacío (HVU).

La UDV/HVU procesa la fracción más pesada proveniente de la UDA a presión de vacío. La presión de vacío disminuye los puntos de ebullición de la fracción más pesada obtenida de la UDA y permite separarla en sus componentes a la vez que reduce las reacciones de craqueo térmico indeseables y el ensuciamiento asociado a estas. Las UDV son equipos de mayor tamaño que las UDA. La corriente de alimentación usualmente se calienta en un horno a temperaturas entre 390-450 C.

El vacío se mantiene mediante el uso de eyectores de vapor, bombas de vacío, y condensadores. Para reducir los costos de operación, es esencial mantener una muy baja caída de presión a través de la columna.

En la UDV se obtienen como productos una fracción ligera (combustible diésel), una fracción intermedia (combustóleo ligero) que se envía a unidades de hidrotratamiento (UH, HCU) o bien de craqueo catalítico fluidizado (FCC) y finalmente una fracción pesada que generalmente se manda a la unidad de craqueo térmico (Coque).

Los productos de la destilación reciben procesamiento adicional dependiendo de la mezcla de productos deseada. El gas de refinería se utiliza como combustible en la





propia refinería en hornos, calderas de generación de vapor, o máquinas generadoras de potencia (turbinas de gas), dependiendo de la instalación industrial, el gas excedente puede quemarse en el lugar. Parte del gas de refinería puede utilizarse para adicionarse a GLP o bien para la producción de hidrógeno. El hidrógeno se utiliza en diferentes procesos de la refinería, por ejemplo, hidrotratamiento para eliminar el azufre e hidrocrqueo para obtener productos más ligeros.

Hidrotratamiento.

La nafta se desulfura mediante tratamiento con hidrógeno y se procesa en un reformador catalítico. Los contaminantes como el azufre y el nitrógeno se eliminan de la gasolina y fracciones más ligeras por contacto con hidrógeno sobre un lecho de catalizador caliente. Es necesario eliminar primero el azufre para evitar el envenenamiento del catalizador más adelante, así como para obtener combustibles limpios desde el punto de vista ambiental. La gasolina ligera tratada se envía a la unidad de isomerización y la nafta al reformador catalítico para aumentar su octanaje. El hidrotratamiento también se utiliza para desulfurar otras corrientes de productos de la refinería.

Aunque se comercializan diferentes tecnologías de hidrotratamiento, todas se basan en el mismo principio. La corriente de alimentación se mezcla con hidrógeno y se calienta a temperaturas entre 260-430 C. En algunos diseños, la corriente de alimentación se calienta y luego se mezcla con el hidrógeno. La temperatura de reacción no debe exceder 430 C para minimizar el craqueo. La mezcla de gas se pasa a través de un lecho de catalizador de óxidos metálicos, los más comunes son óxidos de cobalto o molibdeno. Los catalizadores promueven la reacción del hidrógeno con el azufre formando sulfuros (H_2S) y con el nitrógeno formando amoníaco (NH_3). El efluente del reactor se enfría y se manda a una columna de separación. Parte del gas libre de azufre y nitrógeno se puede reciclar al reactor.

Aparte del consumo de energía intrínseco al Hidrotratamiento, este proceso consume energía en forma indirecta en cantidades significativas, ya que es





necesario producir el hidrógeno al interior de las refinerías a través de otros procesos como la reformación o bien como subproducto del craqueo.

Reformador Catalítico.

La Reformación Catalítica se utiliza para aumentar el octanaje en las gasolinas. Las corrientes de nafta y gasolina desulfurada se envían al reformador catalítico, el producto, llamado reformado, se utiliza para mezclarse con otras corrientes de productos de la refinería. Alrededor del 30 – 40 % de toda la gasolina que se utiliza en Estados Unidos proviene de procesos de Reformación Catalítica. Es indispensable desulfurar convenientemente las corrientes de alimentación al reformador debido a que utiliza catalizador de platino que se envenena fácilmente en presencia de azufre.

La reformación se realiza pasando la corriente de alimentación caliente a través de un reactor catalítico. En el reactor, se llevan a cabo reacciones químicas de deshidrogenación, isomerización, e hidro craqueo. Algunas de las reacciones son endotérmicas y otras exotérmicas. La rapidez de reacción depende de la temperatura, presión y flujo dentro del reactor. Pueden ocurrir reacciones secundarias adversas que es necesario inhibir y/o limitar selectivamente. El reformador es un productor neto de hidrógeno que se utiliza en otras partes de la refinería.

Las tecnologías de los procesos de reformación varían en función de la frecuencia con que se regenera el catalizador, hay diseños continuos, así como cíclicos, o semi-regenerativos. En el proceso continuo, el catalizador se puede substituir durante la operación y se regenera en un reactor separado. En el proceso semi-regenerativo, el reactor necesita parar para regenerar el catalizador. Dependiendo de las condiciones de severidad y de operación, el período entre regeneración es de entre 3 y 24 meses. El proceso cíclico es una alternativa entre estos dos procesos. La ventaja del proceso de semi-regenerativa es el bajo costo.





Craqueo Catalítico en Lecho Fluidizado (FCC).

El craqueo catalítico en lecho fluidizado es uno de los procesos de conversión química más utilizado en las refinerías, mediante este proceso se obtienen gasolina de alto octanaje, diésel y combustóleo ligero, entre otros productos. El FCC prácticamente ha substituido a los procesos de craqueo térmico.

La alimentación al proceso FCC se precalienta a temperaturas entre 260 – 425 C y se introduce a un reactor que opera a temperaturas entre 480 – 540 C, se mezcla con partículas de catalizador y se recircula por el interior del equipo formando un lecho fluidizado. El combustóleo alimentado se transforma químicamente en compuestos más ligeros, a la vez que se genera carbono en forma de coque que se deposita sobre el catalizador.

El catalizador usado se regenera continuamente en la segunda etapa del proceso quemando el coque en presencia de aire alimentado para obtener una mezcla de monóxido y bióxido de carbono ($CO + CO_2$) en diferentes proporciones dependiendo de las condiciones de operación. El proceso de regeneración es más fácil de controlar si el coque se quema completamente a CO_2 lo que libera cantidades considerables de calor y gases de combustión.

La mayoría de las reacciones de craqueo ocurren en el tubo ascendente del reactor catalítico llamado “riser”, el cual entrega la alimentación caliente y catalizadores regenerados al interior del reactor. Los diferentes diseños del reactor varían en la forma en que se acoplan el reactor y el regenerador, la velocidad de recirculación del lecho catalítico controla el proceso.

Las reacciones de craqueo son endotérmicas y las de combustión del coque exotérmicas. El proceso neto consume energía ya que se necesita precalentar la corriente de alimentación, sin embargo, la integración de las dos etapas del proceso permite recuperar una parte del calor de combustión generado obteniendo vapor de caldera y energía eléctrica de turbinas. Las turbinas de recuperación de energía también se pueden usar para comprimir el aire de alimentación al proceso.





Hidro craqueo o *Hydrocracking* (UHC).

El hidro craqueo se ha convertido en un proceso importante en las refinerías modernas ya que permite obtener un mejor equilibrio entre gasolina y destilados, mejorando el rendimiento hacia gasolinas por petróleo procesado, a la vez que mejora también la calidad del octanaje y puede complementar la operación de la unidad FCC para procesar crudos pesados. El proceso de hidro craqueo, convierte el combustóleo alimentado al proceso en productos más ligeros utilizando alta presión parcial de hidrógeno sobre un lecho de catalizador caliente. Los principales productos son nafta, turbosina y diésel. También puede usarse para convertir fracciones de combustible pesado a productos más ligeros. En la actualidad las grandes refinerías modernas en el mundo incluyen el hidro craqueo en sus procesos.

En el hidro craqueo ocurren muchas reacciones químicas. Las principales son similares a las de una unidad FCC, aunque con hidrogenación. Las reacciones se llevan a cabo a temperaturas de entre 290-400 C y presiones de 8.3 a 13.8 bar, las reacciones son catalizadas por una combinación de metales de tierras raras. Debido a que el catalizador es susceptible al envenenamiento, la alimentación al proceso no debe contener sales metálicas y compuestos de nitrógeno y azufre. Esto se logra tratando previamente la alimentación con hidrógeno con lo cual, además de eliminar azufre y nitrógeno se saturan las olefinas presentes y se forma agua. En una columna de separación posterior se separan los compuestos de azufre y nitrógeno en tanto que el agua se elimina mediante secadores de tamiz molecular o sílica gel.

Las reacciones se controlan mediante temperatura, presión y flujo. En el reactor se obtienen eficiencias de entre 40–50 %, lo que significa que, en el perfil de distribución de productos obtenidos, estos porcentajes corresponden a productos con puntos de ebullición inferiores a 205 C.

El efluente del reactor se pasa a través de intercambiadores de calor y pasa después a un separador, en el que se recupera el hidrógeno para reciclarlo. Los productos líquidos del separador se destilan para separar los compuestos C_4 y más ligeros de la nafta, turbosina y diésel. La corriente de fondo del fraccionador se





mezcla con hidrógeno y se envía a un reactor de segunda etapa para aumentar la eficiencia de conversión a 50-70 %.

El hidrocraqueador consume combustible, vapor y electricidad (para compresores y bombas). También consume energía indirectamente debido a la que se utilizó para producir hidrógeno en otros procesos de la refinería. El consumo de hidrógeno es de entre 150 - 300 pies cúbicos/barril de alimentación al proceso de hidrotratamiento. El consumo de hidrógeno por barril de petróleo crudo procesado en la refinería es de entre 1000 - 3000 pies cúbicos/ barril alimentado. El hidrógeno utilizado en el proceso proviene de las plantas de reformación.

Coque.

Una nueva generación de procesos de coquización, también llamados procesos de fondo de barril, ha añadido flexibilidad de operación a las refinerías, ya que permiten convertir “fondos pesados” provenientes de diversos procesos de la refinería en corrientes más ligeras y coque. La coquización se puede considerar como un proceso de craqueo térmico severo. Los procesos de coquización modernos también se pueden utilizar para acondicionar las corrientes de alimentación al hidrocraqueo.

En el proceso de coquización Flexi, la corriente de alimentación pesada se precalienta a 315-370 C y se pulveriza sobre un lecho de coque fluidizado caliente (510 – 540 C) que se recicla internamente. El lecho de coque se encuentra a temperaturas en las que ocurren las reacciones químicas de craqueo. Los vapores producto de la coquización se pasan a separadores-enfriadores ciclónicos en los que condensan algunos productos. El corriente vapor de salida se alimenta a una columna fraccionadora que separa los compuestos obtenidos en varias corrientes.

El coque remanente se pasa a un segundo reactor de lecho fluidizado donde se calienta a 590 C para procesarse nuevamente como se indicó en el párrafo anterior. El coque remanente del segundo reactor se gasifica en un tercer reactor en presencia de vapor de agua y aire para producir gas de síntesis que contiene alguna cantidad de azufre en forma de sulfhídrico (H_2S). Una vez que se elimina el azufre





el gas que contiene CO , H_2 , CO_2 y N_2 se puede utilizar como combustible en calderas y hornos. La unidad de coquización consume combustible (precalentamiento), vapor y electricidad.

Reductora de Viscosidad.

La reducción de viscosidad es una operación de craqueo térmico relativamente suave que se utiliza para reducir la viscosidad de los productos de fondos y producir combustóleo. Esto reduce la producción de aceites combustibles pesados, mientras que los productos pueden ser utilizados para aumentar la carga de alimentación FCC y aumentar el rendimiento de la gasolina.

Esto se logra mediante el craqueo de las cadenas laterales de las parafinas y los compuestos aromáticos presentes en la alimentación, así como el craqueo de las resinas de hidrocarburos ligeros. Dependiendo de la severidad de la operación, es decir, temperatura y tiempo de permanencia en el craqueador, se pueden obtener diversos

Alquilación y Polimerización.

La alquilación se utiliza para producir compuestos de mayor octanaje denominados alquilados y también líquidos como butano, GLP entre otros y alquitrán como subproducto. Las reacciones son catalizadas por ácido fluorhídrico o ácido sulfúrico. La elección del proceso se basa principalmente en los costos de adquisición del ácido, así como la disposición del ácido residual, ya que no hay gran diferencia en la intensidad de consumo de energía, inversión inicial y gastos de operación. Los procesos de alquilación consumen vapor y electricidad.

Unidad de fabricación de hidrógeno o reformado con vapor (HMU).

El hidrógeno necesario para los diversos procesos de hidrot ratamiento en las refinerías se necesita producir en el lugar. La alternativa más económica para producir hidrógeno es la reformación catalítica del metano del gas natural. El metano





presente en el gas natural se hace reaccionar en presencia de un catalizador con vapor de agua para producir una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno. A su vez, el monóxido de carbono así producido se combina con el vapor de agua para dar bióxido de carbono e hidrógeno elemental (reacción de desplazamiento con vapor de agua). El resultado final es una mezcla gaseosa que contiene monóxido y bióxido de carbono más hidrógeno en diferentes proporciones de acuerdo a las condiciones de operación utilizadas. El CO_2 se elimina de la corriente gaseosa mediante procesos de absorción con disolventes.

El proceso consume combustibles (para calentar el reformador), vapor y potencia de compresión. Las variantes modernas utilizan procesos de adsorción con mallas moleculares para eliminar el CO_2 .

Unidad de Procesamiento de Gas.

Las unidades de procesamiento de gas de refinería se utilizan para recuperar los componentes C_3 , C_4 , C_5 y C_6 de los diferentes procesos, y para producir gas desulfurado. Los productos más ligeros se utilizan como combustible o para la producción de H_2 , mientras que la fracción más pesada se recicla en la refinería. Estas unidades consisten en equipos de destilación, absorción y columnas de separación para recuperar los gases etano, propano y butano. Se utiliza combustible (para calentar el gas de alimentación) y electricidad (compresores, bombas y otros usos).

Eliminación de gases ácidos.

Los gases ácidos tales como H_2S y CO_2 necesitan removerse de las corrientes gaseosas para reducir la contaminación del aire. Estos gases se eliminan mediante procesos de absorción química y posterior tratamiento para su disposición final. El H_2S se puede transformar en azufre elemental mediante el proceso Claus. Estos procesos consumen combustible y electricidad.





En la tabla 3.1 se indica el número de unidades de procesamiento de petróleo de alto consumo de energía, operando durante 2012 y 2013 en el Sistema Nacional de Refinerías de PEMEX.

Tabla 3.1. Unidades de procesamiento de petróleo SNR 2012 y 2013. [19]

PEMEX Refinación	2012	2013
Refinerías	6	6
Destilación primaria	18	18
Destilación al vacío	18	17
Desintegración catalítica	11	11
Reducción de viscosidad	2	2
Reformadoras	13	13
Alquilación e Isomerización	14	15
Hidrodesulfuradoras	40	41
Coquizadoras	3	3

En la tabla 3.2 se indica el número de unidades de procesamiento de gas de alto consumo de energía, operando durante 2012 y 2013 en PEMEX Gas y Petroquímica Básica.

Tabla 3.2. Unidades de procesamiento PEMEX Gas y Petroquímica Básica 2012 y 2013. [20]

PEMEX Gas y Petroquímica Básica	2012	2013
Complejos procesadores de gas	11	11
Endulzadoras de gas	20	20
Plantas criogénicas	21	21
Plantas fraccionadoras	9	9
Endulzadoras de condensados	6	6
Recuperación de azufre	14	14





3.4 Oportunidades de mejora de la eficiencia energética. [16,17]

Hay muchas oportunidades de ahorro de energía y mejora de productividad de las instalaciones industriales de refinación de petróleo. Los estudios realizados por diversas empresas dedicadas a la refinación y petroquímica han demostrado la existencia de un gran potencial de mejora de la eficiencia energética en casi todas las instalaciones. En términos generales la eficiencia energética de cualquier planta en el mundo puede mejorarse obteniendo ahorros de entre 10 y 20 % en los costos de producción por consumo de energía.

Por ejemplo, una auditoría energética en la refinería *Equilon* (ahora *Shell*) en *Martinez, California* 2002, encontró un potencial de mejora de la eficiencia global de 12%. Este potencial de ahorro equivale a ahorros de costos anuales de millones a decenas de millones de dólares para las refinerías, en función de su tamaño y la eficiencia actual. La mejora de la eficiencia energética puede derivar en beneficios que superan con creces los costos de inversión necesarios y al mismo tiempo obtener importantes reducciones de emisiones contaminantes.

Las principales áreas de mejora de la eficiencia energética son los servicios (30%), calentadores a fuego directo (20%), la optimización de procesos (15%), intercambiadores de calor (15%), motores y aplicaciones de motor (10%), y otras áreas (10%).

La optimización de los servicios de agua, energía eléctrica, intercambio de calor, y calentadores a fuego directo son los que requieren menores inversiones de capital. Las experiencias de diversas compañías petroleras han demostrado que la mayoría de las inversiones son relativamente bajas considerando el valor de las instalaciones industriales y los montos anuales de operación. Desde luego, todos los proyectos tienen costos de operación en sus diferentes etapas de desarrollo y requieren de los recursos de ingeniería necesarios y suficientes para llevarlos a cabo. Cada refinería debe tratarse de manera específica en lo técnico y dentro del contexto económico y social donde opera.





En la tabla (4.1) se presenta una matriz que indica de forma resumida las oportunidades de mejora de la eficiencia energética en una refinería moderna. En los renglones de la matriz se anotan los principales procesos (tecnologías) y en las columnas los equipos y sistemas de suministro de servicios que forman parte de ellos.

Con base en la Tabla (4.1) en el siguiente capítulo se da una descripción de las oportunidades de mejora, así como de la experiencia y resultados de ahorro obtenidos en el consumo de energía en refinerías ubicadas en diversos países. En la tabla, el número colocado en la casilla donde intersectan los renglones con las columnas indica la subsección del capítulo 4 donde se detalla la oportunidad de mejora y las experiencias internacionales publicadas. En la investigación bibliográfica realizada no se encontró publicada información de este tipo en los informes anuales de labores de PEMEX.

La Tabla (4.1) y el Capítulo 4 de esta tesis tienen la intención de servir como una guía general que indique aquellas partes de las instalaciones industriales de refinerías de petróleo en las que se podrían obtener ahorros significativos en el consumo de energía, con un enfoque de costo efectividad., basándose en experiencias obtenidas en diferentes refinerías del mundo (*benchmarking*).

En el estudio bibliográfico realizado en esta tesis, se encontraron referencias a trabajos de este tipo, sin embargo, la información es propiedad de compañías internacionales. Por ejemplo, *Exxon Mobil* reporta que ha desarrollado su “Sistema Global de Gestión Ambiental (GEMS)”, que consta de 12 manuales en los que se describen más de 200 buenas prácticas y medidas de desempeño para las unidades clave de proceso, equipo pesado, y los sistemas de servicios. Además del fuerte enfoque en la operación y mantenimiento de los equipos existentes, estas prácticas también se ocupan de la eficiencia energética en el diseño de las nuevas instalaciones. GEMS identificó oportunidades para mejorar la eficiencia energética en un 15% en las refinerías de ExxonMobil y plantas químicas en todo el mundo.





Un factor que no se debe soslayar es el Factor Humano. A la vez que las tecnologías mejoran, el capital humano encargado de operar los procesos también debe mejorar. La mejora continua del personal que opera las refinerías es parte de los sistemas de gestión de energía e implica permanente actualización y capacitación a todos niveles. Todo el personal debe mantenerse consciente de que los sistemas de gestión de la energía deben mantenerse siempre en mejora continua de forma permanente.

La participación en programas voluntarios como ENERGY STAR en los Estados Unidos de Norteamérica, o la implementación de un sistema de gestión ambiental, como la ISO 14001, puede ayudar a las empresas a realizar un seguimiento de la energía y poner en práctica medidas de eficiencia energética. Un socio de ENERGY STAR señaló que la combinación de programas de gestión de la energía con la norma ISO 14001 ha tenido mayor efecto sobre el ahorro de energía en sus plantas.

Compañías como BP han implementado con éxito programas agresivos de reducción de emisiones de gas de efecto invernadero (GEI) en sus instalaciones en todo el mundo (incluyendo la exploración y refinación). BP ha reducido sus emisiones globales de GEI al 10% por debajo de los niveles de 1990 dentro de los 5 años del inicio de su programa; años por delante de su objetivo, mientras que disminuye los costos de operación. Estos esfuerzos demuestran el éxito potencial de una estrategia corporativa para reducir el consumo energético y las emisiones asociadas.

Petro-Canadá participa en el Desafío Voluntario de cambio climático y registro de Canadá y ha desarrollado un programa de reducción de emisiones y aumento de la eficiencia energética en toda la empresa, reportando sus resultados anualmente.

En Europa, varios países tienen acuerdos voluntarios entre los sectores industriales y los gobiernos para reducir la emisión de gases de efecto invernadero, así como el consumo de energía. Por ejemplo, todas las refinerías que pertenecen a *BP, Exxon Mobil, Shell y Texaco*, que operan en los Países Bajos, participaron en acuerdos de largo plazo entre 1989 y 2010 para lograr y homologar los objetivos anteriores.





Estas refinerías que procesan aproximadamente 61 millones de toneladas de crudo al año, lograron una mejora del 17% de la eficiencia energética. Hoy en día, las refinerías participan en un nuevo acuerdo que las colocará dentro del grupo de refinerías que operan con la más alta eficiencia energética en todo el mundo.





3.5 Sistema de Gestión de la Energía. [18,19]

La mejora de la eficiencia energética en refinerías debe abordarse desde varias direcciones. Es esencial un programa de gestión de la energía fuerte, y que abarque a toda la empresa. Equipos transversales y tecnologías, tales como calderas, compresores y bombas, común a la mayoría de las plantas y de las industrias de fabricación, incluyendo la refinación de petróleo, presentan oportunidades bien documentadas para la mejora. Igualmente, importante, el proceso de producción puede ser afinado para producir ahorros adicionales.

La Norma ISO 50001 y los sistemas de gestión.

Cambiar la forma en cómo se gestiona la energía mediante la aplicación de un programa de gestión en toda la organización, como el propuesto en la Norma ISO 50001, es una de las formas más exitosas y rentables para lograr mejoras en la eficiencia de energía. Un programa de gestión de la energía crea una base para la mejora y proporciona una guía para la gestión de la energía en toda la organización.

Si no se tiene un sistema de gestión bien definido en la que todos los integrantes de la organización asuman compromisos y emprendan las acciones necesarias de forma coordinada y solidaria habrá obstáculos difíciles si no es que imposibles de superar, como por ejemplo falta de comunicación entre las plantas, pobre entendimiento de cómo apoyar un proyecto de eficiencia energética, finanzas limitadas, pobre rendición de cuentas, imposibilidad de evaluar con objetividad la situación actual, etc.

La EPA de EUA a través de ENERGY STAR, ha trabajado con muchos de los fabricantes y proveedores de equipos y servicios industriales, lo que le ha permitido identificar los conceptos y acciones básicas para integrar un programa eficaz de gestión de la energía (figura 12).



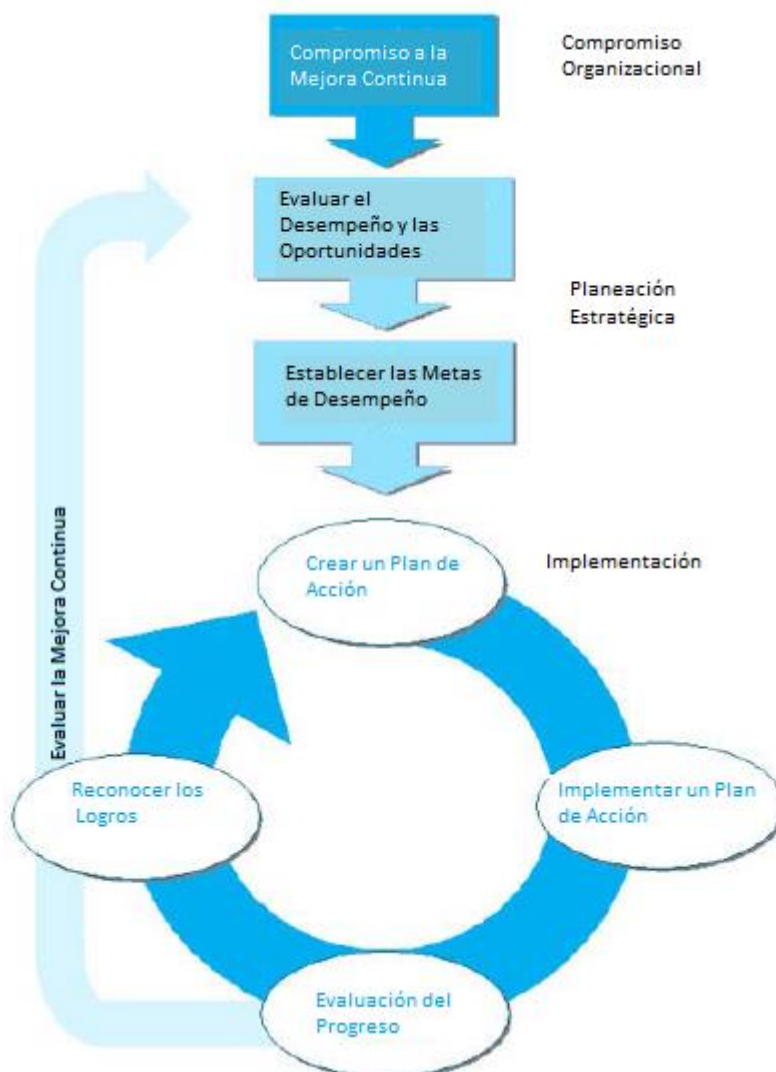


Figura 12. Principales elementos de un sistema de Gestión de Energía. [21]

Un programa exitoso de gestión de la energía comienza con un fuerte compromiso de mejora continua de la eficiencia energética por parte de los directivos de la organización. Normalmente, esto implica el establecimiento de una política energética de la organización, así como la asignación de actividades de planeación, organización y supervisión a un director de energía y la creación de un equipo de trabajo con funciones claramente definidas. Se diseñan y asignan objetivos, metas y etapas, así como procedimientos para evaluar el desempeño a través de evaluaciones periódicas de los avances y logros tanto técnicos como administrativos.



Un aspecto muy importante para asegurar el éxito del plan de acción, es la participación comprometida de los miembros de la organización a todos niveles. Todo el personal de la organización debe ser consciente de su participación colaborativa en el logro de las metas y objetivos de eficiencia energética. El personal debe estar actualizado y capacitado para desempeñar sus labores diarias de acuerdo a las mejores prácticas establecidas dentro de la empresa. Es necesario también otorgar al personal el debido reconocimiento a su buen desempeño.





CAPÍTULO 4

Oportunidades de Ahorro en los Procesos de Refinería. [16,18,20,22]

La Excelencia Operativa forma parte importante de la misión y visión de la industria de la refinación moderna. Esta excelencia tiene numerosos componentes, algunos objetivos clave tienen considerable impacto directo sobre el desempeño del negocio de la refinación, entre otros se tienen los siguientes:

- Producir el conjunto de productos refinados de mayor valor posible que demanda el mercado,
- Maximizar la producción de los equipos existentes,
- Maximizar el factor de operación de los equipos,
- Mantener los inventarios tan bajos como sea posible,
- Reducir continuamente costos y conseguir mejora de eficiencia operacional,
- Minimizar los residuos emitidos al medio ambiente,
- Minimizar incidentes de salud, seguridad y medio ambientales.

Los costos de energía son el mayor componente del costo de producción en las refinerías, después del costo de la compra del crudo. A nivel internacional, estos dos constituyen en promedio entre el 30 al 50 % de todos los costos operativos de la refinería.

En este capítulo se describen con mayor amplitud las oportunidades de ahorro de energía en los principales procesos de las refinerías. Las principales fuentes de consulta para elaborarlo, entre otras, fueron publicaciones de, o patrocinadas por:

- El Departamento de Energía de los EUA (US DOE),
- La Agencia de Protección del Ambiente de los EUA (US EPA),
- La Administración de Información de la Energía (US EIA),
- La Secretaría de Energía de México (SENER),
- La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía de México (CONUUE),
- Petróleos Mexicanos (PEMEX)





En los renglones de la Tabla 4.1 se anotan los procesos, en las columnas, los equipos o subprocesos y donde se intersectan, la descripción de la oportunidad de mejora.





Tabla 4.1. Guía de oportunidades de mejora en eficiencia energética. [16]

PROCESO	ADMINISTRACIÓN DE ENERGIA	RECUPERACIÓN DE GASES	RECUPERACIÓN DE ELECTRICIDAD	CALENTADORES	DISTRIBUCIÓN DE VAPOR	INTERCAMBIADOR DE CALOR	INTEGRACIÓN DE PROCESOS	DESTILACIÓN	ADMINISTRACIÓN DE HIDROGENO	MOTORES	BOMBAS	COMPRESORES DE AIRE	VENTILADORES	ILUMINACIÓN	COGENERACIÓN	GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD	OTRAS AREAS DE OPORTUNIDAD
DESALADO	4										4.10						
UDA	4	4.1			4.4	4.5	4.6	4.7	4.8		4.10	4.11					
UDV	4				4.4	4.5	4.6		4.8					4.13			
HIDROS	4				4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9				4.13			
REFORMADORA	4	4.1			4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9				4.13			
FCC	4	4.1	4.2		4.4	4.5	4.6	4.7	4.8					4.13			
HYDROCRAQUEO	4	4.1	4.2		4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9				4.13			
COQUE	4	4.1			4.4	4.5	4.6	4.7	4.8					4.13			
REDUCTORA DE VISCOCIDAD	4	4.1			4.4	4.5	4.6	4.7	4.8					4.13			
ALQUILACION	4				4.4	4.5	4.6	4.7	4.8					4.13			
LIGEROS FINALES	4				4.4	4.5	4.6		4.8								
AROMATICOS	4				4.4	4.5	4.6	4.7	4.8								
HIDROGENO	4				4.4	4.5	4.6	4.7		4.9				4.13			
SERVICIOS	4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6		4.8	4-9			4-12	4.13	4.14	4.15	4.16





4.1 Recuperación de Gases de Quemador (*Flare gas*). [28, 29]

La Recuperación de gas de Quemador (o cero quema de gases de quemador) es una estrategia que se origina en la necesidad de mejorar el desempeño ambiental. La práctica convencional consiste en operar mecheros y quemar el gas excedente y obtener mayores flujos de extracción.

Por lo general, el gas de quemador consiste en la quema de fondo (incluyendo quema intermitente planeada y quema continua planeada) y la quema de gases de purga. Costa afuera (offshore), la quema de fondo puede llegar a niveles de 50% de todos los gases que salen del pozo. La quema de fondo generalmente es menor al 50%, dependiendo de las prácticas en cada refinería.

Las emisiones pueden reducirse con la mejora de los equipos de control de procesos y mejores tecnologías de quema. El desarrollo de sistemas de recuperación de gas, de nuevos sistemas de encendido con bajo consumo de gas de piloto, o la eliminación de los pilotos en conjunto con el uso de nuevos sistemas de encendido balísticos puede reducir la cantidad de gas quemado considerablemente. El desarrollo de nuevos sistemas de encendido sin piloto puede dar lugar a una mayor eficiencia energética y reducción de emisiones.

La reducción de la quema puede lograrse mediante la mejora de los sistemas de recuperación, incluyendo la instalación de compresores de recuperación y los tanques de recolección y almacenamiento. Esta tecnología está disponible comercialmente. En varias refinerías en Estados Unidos se han instalado sistemas de recuperación de gas de quemador, por ejemplo, *ChevronTexaco en Pascagoula (Misisipi)* e incluso algunas pequeñas refinerías como *Lion Oil Co. (El Dorado, Arkansas)*.

Una evaluación de toda la planta de la refinería *Equilon en Martinez* (ahora totalmente propiedad de *Shell*) destacó el potencial de recuperación de gas de





quemador. La refinería instalará nuevos compresores de recuperación y tanques de almacenamiento para reducir la quema. No hay costos específicos disponibles para el proyecto de recuperación de gas de quemador, ya que es parte de un gran paquete de medidas para la refinería. El proyecto en su conjunto ha estimado un ahorro anual de 52 millones de dólares y un plazo de amortización de 2 años.

La instalación de dos sistemas de recuperación de gas de quemador en la refinería de 65.000 bpd, “León” en *El Dorado (Arkansas)* en 2001 ha reducido la quema a niveles cercanos a cero. La refinería sólo utilizará los quemadores en caso de emergencia, donde la cantidad total de gas superará la capacidad de la unidad de recuperación. El gas recuperado se comprime y se utiliza en el sistema de combustible de las refinerías.

No hay información sobre el ahorro de energía y la recuperación de la inversión para esta instalación en particular. *John Zink Co.*, el instalador del sistema de recuperación, informa de que el retorno de la inversión de sistemas de recuperación puede ser tan corto como un año. Por otra parte, los sistemas de recuperación de gases de quemador ofrecen una mayor vida a las boquillas del quemador y la reducción de emisiones.

4.2 Recuperación de Electricidad (*Power Recovery*). [30, 31]

Varios procesos se realizan a presiones elevadas, lo que permite la oportunidad de recuperar la energía de presión en el gas de combustión. La principal oportunidad para recuperar energía en las refinerías de petróleo es el craqueo catalítico fluido (FCC). Sin embargo, también se puede realizar en hidrocraqueadores y otros equipos que operan a presiones elevadas. Los diseños modernos de unidades de FCC utilizan turbinas o turbo expansores para recuperar energía a partir de la presión. La energía recuperada se puede utilizar para accionar el compresor FCC o para generación de energía eléctrica.





Existe amplia experiencia en la operación de unidades de FCC con turbinas de recuperación de energía. Los nuevos diseños tienden a ser más eficientes debido en buena parte a que recuperan energía, las turbinas de recuperación son suministradas por un pequeño número de proveedores, incluyendo *GE Power Systems*.

Muchas refinerías en Estados Unidos y alrededor del mundo han instalado turbinas de recuperación. *Valero* ha actualizado recientemente los turbo expansores en sus refinerías de *Houston* y *Corpus Christi (Texas)* y *Wilmington (California)*. La refinería de *Valero* en *Houston* sustituyó la antigua turbina de recuperación de energía logrando un sustancial aumento de la capacidad del soplador aumentando la capacidad de procesamiento de la unidad de FCC.

En la refinería de *Houston*, el redimensionamiento del tren de recuperación de energía de FCC dio lugar a un ahorro de energía de 22×10^6 W, y exportará energía adicional (hasta 4×10^6 W) a la red. La refinería de Petro Canadá en Edmonton reemplazó un expansor turbo por una unidad nueva y más eficiente en octubre de 1998, el ahorro fue de alrededor de 18×10^{12} Btu anualmente.

Las turbinas de recuperación de energía también se pueden aplicar en unidades de hidrocrqueo. Puede recuperarse energía aprovechando la diferencia de presión entre el reactor y las etapas de fraccionamiento del proceso. En 1993, la refinería *Total* en *Vlissingen, Holanda*, instaló una turbina de recuperación de energía de 910×10^3 W para reemplazar el acelerador en su hidrocrqueador.

El equipo opera a 160 bar, la turbina de recuperación de energía produce alrededor de 7.3 mil millones de Wh/año (suponiendo 8.000 horas / año). La inversión fue de 1.2 millones (dólares en 1993). El período de recuperación de la inversión fue de 2.5 años.





4.3 Calderas. [32,33]

Acondicionamiento del agua de alimentación a las calderas. Dependiendo de la calidad del agua entrante, el agua de alimentación a la caldera (BFW) puede requerir diferentes tratamientos, una tecnología innovadora es el tratamiento con membranas. En la ósmosis inversa (OI), se pasa agua a presión a través de una membrana semipermeable. Los procesos con membranas se utilizan con mayor frecuencia en el acondicionamiento de agua para calderas y son muy confiables, sin embargo, requieren limpieza y sustitución periódica de las membranas para mantener el suministro de agua a las calderas.

La refinería *Flying J* en *North Salt Lake (Utah)* instaló una unidad de OI para eliminar la dureza y reducir la alcalinidad del agua de alimentación a las calderas, en sustitución de un procedimiento ablandador de agua en caliente. La unidad comenzó a operar en 1998 y obtuvo como resultado la reducción de purga de la caldera (de 13.3% a 1,5% del vapor producido) así como la reducción del uso de químicos, mantenimiento y eliminación de los costos por tratamiento de los residuos. Con una inversión de 350,000 dólares y beneficios anuales de aproximadamente 200,000 dólares, el periodo de recuperación fue de menos de 2 años.

Mejora de Control. Los monitores de gas de combustión se utilizan para mantener la temperatura óptima de la flama, y para monitorear el CO , oxígeno y humo. El gas de escape es una combinación del aire en exceso (que se introduce deliberadamente para mejorar la seguridad o reducir las emisiones) y la infiltración de aire (fuga de aire en la caldera). Mediante la combinación de un monitor de oxígeno con un monitor de flujo de aire de admisión, es posible detectar incluso pequeñas fugas. Usando una combinación de 37 lecturas de CO y oxígeno, es posible optimizar la mezcla de aire/combustible para una flama de alta temperatura (y por tanto mejorar la eficiencia energética) y bajas emisiones. La recuperación de la inversión de este tipo de sistemas de control del proceso es de





aproximadamente 0.6 años, sin embargo, esta medida puede ser demasiado cara para pequeñas calderas.

Reducir la Cantidades de Gases de Combustión. Es frecuente que el exceso de aire de combustión y las fugas en la caldera y chimenea se traduzcan en menor transferencia de calor al vapor y en el aumento de los requisitos de bombeo. Reparar estas fugas y corregir el aire de exceso puede significar ahorros del orden del 2 al 5 % en la cantidad de energía térmica suministrada a la caldera. La inspección visual permite diagnosticar la necesidad de reparaciones y determinar la periodicidad del mantenimiento preventivo.

Reducir el Exceso de Aire. El aumento en la cantidad de aire alimentado a la caldera, aumenta la cantidad de calor que se necesita para calentarlo y quemar el combustible, el nitrógeno y los gases de combustión de salida se llevarán consigo cantidades considerables de calor. Dependiendo del combustible utilizado, para una combustión segura y eficiente, que además minimice la producción de óxidos de nitrógeno, se requiere alimentar un ligero exceso de aire con relación a la ideal estequiométrica necesaria.

Para calderas de gas y combustóleo, el exceso adecuado es de 15% aproximadamente. Las calderas con bajo e inadecuado mantenimiento operan hasta con 140% de exceso de aire. Reducir estos excesos exagerados a valores del orden de 15% pueden significar ahorros de aproximadamente 8% de energía incluso sin controles automáticos.

Mejorar el Aislamiento. El uso de materiales aislantes con menor conductividad térmica y capacidad calorífica pueden significar ahorros del orden de 26% si se combinan con la mejora en el control del circuito de calefacción. Como resultado de la baja capacidad retención de calor de las fibras cerámicas, la temperatura de escape de los gases de combustión es prácticamente la temperatura de los elementos de calentamiento. Las pérdidas a través de la coraza de una caldera bien mantenida deben ser inferiores a 1%.





Mantenimiento. Un programa de mantenimiento sencillo que asegure que todos los componentes de la caldera están funcionando en su nivel óptimo, puede traducirse en ahorros significativos, del orden de al menos 10% del consumo de combustible. La falta de un buen sistema de mantenimiento origina pérdidas de eficiencia del orden de 20 a 30%. Las normas que regulan las emisiones de contaminantes gaseosos a la atmósfera son criterios de operación que obligan a establecer programas de mantenimiento eficientes.

Debe controlarse el ensuciamiento de los tubos de la caldera o la presencia de incrustaciones del lado agua. Las calderas que menos presentan ensuciamiento son las de gas, en cambio, las que utilizan carbón o combustibles líquidos se ensucian con gran facilidad. La evidencia experimental indica que una capa de hollín de 0.8 mm de espesor reduce la transferencia de calor en 9.5% mientras que una capa de 4.5 mm lo hace en 69%. Incrustaciones con espesor de 1 mm pueden aumentar el consumo de combustible en 2% además de los problemas de corrosión y perforaciones.

Recuperación de Calor de Gases de Combustión. El calor de los gases de combustión puede usarse para precalentar el agua de alimentación de caldera mediante economizadores. Si bien esta medida es bastante común en grandes calderas, a menudo hay todavía potencial para recuperar más calor. El factor limitante para la recuperación de calor de gases de combustión es la temperatura de la pared del economizador que no debe ser inferior al punto de rocío de los ácidos que se forman por el contacto de estos con el agua en fase líquida.

Si los gases de combustión contienen óxidos de azufre, se formará ácido sulfúrico, los óxidos de nitrógeno podrán formar ácido nítrico y el bióxido de nitrógeno ácido carbónico.

Tradicionalmente esto se hace manteniendo los gases de combustión a





temperaturas mayores al punto de rocío de la mezcla gaseosa. Sin embargo, la temperatura de la pared del economizador es más dependiente de la temperatura del agua de alimentación que de la temperatura del gas de combustión debido al alto coeficiente de transferencia de calor del agua, por lo que se acostumbra precalentar el agua de alimentación a temperaturas cercanas al punto de rocío de los ácidos que se pudieran formar antes de que entre al economizador. Esto hace que el economizador se diseñe de manera que el gas de combustión de salida del mismo esté por encima del punto de rocío del ácido. Se logra un ahorro del 1% por cada 25 C de reducción en temperatura de los gases de escape.

Recuperar Vapor De Purga. Cuando se sopla el agua del depósito de alta presión de la caldera, se producen cantidades importantes de vapor que puede utilizarse para calefacción y precalentamiento de agua de alimentación. Para calderas grandes de alta presión esta pérdida puede ser de 0.5% o menor. Se estima que la recuperación de gases de purga puede ahorrar 1.3% del consumo de combustible para calderas por debajo de 100×10^6 de Btu/hr. El periodo de amortización puede variar entre 1 y 3 años.



Tabla 4.2. Resumen de medidas de eficiencia energética en Calderas. [32]

Medida	Combustible Ahorrado	Retorno de Inversión (años)	Otros Beneficios
Mejora de Control de Procesos	3%	0.6	Reducción de Emisiones
Reducir las Cantidades de Gas de Combustión	2-5%		Controles de emisión baratos
Reducir el Exceso de Aire	1% de mejora por cada 15% de exceso de aire		
Mejorar el Aislamiento	6-26%		Calentamiento más rápido
Mantenimiento	10%	0	Reducción de emisiones
Recuperación de Calor de Gases de Combustión	1%	2	
Recuperar Vapor De Purga	1.3%	1 - 2.7	Reduce el daño a estructuras (menos aire húmedo es menos corrosivo)
Combustibles Alternos	Variable		Reduce el flujo de residuos sólidos al costo del aumento de las emisiones al aire

Reducir Tiempos Muertos. Es frecuente que una o más calderas se mantengan en reserva en las refinerías en previsión de fallas y salida de operación de las que se encuentran en operación. Durante los tiempos muertos la caldera se pone en marcha mínima reduciendo la producción de vapor prácticamente a cero, manteniendo al quemador en piloto y reduciendo las alimentaciones de agua y aire a la caldera.

Instalando un sistema de control automático se puede llevar a la caldera a plena producción en 12 minutos aproximadamente. La instalación del sistema de control y la modificación de la caldera puede resultar en un ahorro de energía de hasta 85% de la caldera en espera.

La planta de amoníaco *Kemira Oy* en *Rozenburg* (Países Bajos) aplica este sistema a una caldera de vapor de 40 t/h, reduciendo el consumo de vapor de espera de 6 t/hr a 1 t/h. Esto dio lugar a un ahorro energético del 54×10^{12} Btu/año.



Las inversiones fueron aproximadamente 270.000 dólares (dólares en 1991), lo que en esta planta en particular resultó en un periodo de recuperación de 1.5 años.

4.4 Distribución de Vapor. [34, 35]

En el diseño de nuevos sistemas de distribución de vapor, es muy importante tener en cuenta la velocidad y la caída de presión. Esto reduce el riesgo de sobredimensionar una tubería de vapor, que no sólo es una cuestión de costos, sino que también conduce a mayores pérdidas de calor. Una tubería demasiado pequeña puede conducir a desgaste por erosión y aumento de la caída de presión.

La demanda de vapor puede cambiar con el tiempo, lo que puede originar la reducción en la utilización de la capacidad de distribución de vapor, así como pérdidas de calor. Sin embargo, puede ser muy caro optimizar el sistema para atender demandas fluctuantes de vapor. Aun así, identificar las líneas de distribución sobrantes y clausurarlas es una manera costo-efectiva de reducir las pérdidas de distribución de vapor. A continuación, se describen otras estrategias de mantenimiento de los sistemas de distribución de vapor.

Mejorar el Aislamiento. Instalar mayor cantidad de material aislante, o bien hacer un análisis cuidadoso del material aislante adecuado. Los factores cruciales en la elección de material aislante incluyen: baja conductividad térmica, estabilidad dimensional, bajo cambio de temperatura, resistencia a la absorción de agua, y la resistencia a la combustión. Otras características también pueden ser importantes dependiendo de la aplicación, por ejemplo, la tolerancia a grandes variaciones de temperatura, de vibración del sistema, y resistencia a la compresión donde el aislamiento forma parte del soporte de carga.

Mejorar el aislamiento de los sistemas existentes de distribución de calor ahorraría un promedio de 3 a 13% en todos los sistemas con un periodo medio de amortización de 1.1 años. El Departamento de Energía de Estados Unidos ha





desarrollado la herramienta de software 3E-Plus para evaluar el aislamiento óptimo para sistemas de vapor [35]

Mantenimiento del Aislamiento. Es común que no se reemplace el aislamiento después de hacer reparaciones. Algunos materiales aislantes pueden fragilizarse o degradarse tanto en sus propiedades mecánicas como en su composición química. Un sistema de inspección y mantenimiento periódico puede traducirse en ahorros de energía.

Mejorar Trampas de Vapor. Utilizando elementos termostáticos modernos, las trampas de vapor pueden reducir el consumo de energía al tiempo que mejoran la confiabilidad y fiabilidad de la instalación. Entre las principales ventajas de estas trampas se tiene que se abren cuando la temperatura es cercana a la del vapor saturado (a menos de 2 C), se mantienen abiertas en el arranque para permitir un rápido calentamiento en el sistema de vapor y purgan los gases no condensables después de cada abertura. Estas trampas son muy confiables, y utilizables para un amplio intervalo de presiones de vapor. Los ahorros de energía pueden variar dependiendo de las trampas de vapor instaladas y el mantenimiento.

Mantenimiento a Trampas de Vapor. Un sencillo programa de comprobación de las trampas de vapor para asegurar su buen funcionamiento puede ahorrar importantes cantidades de energía. Se estima que un sistema de revisión y mantenimiento regular a estos dispositivos ahorra hasta el 10% del consumo de energía con tiempos de amortización inferiores a seis meses. Una auditoría de la refinería *Flying J.* en *North Salt Lake* (Utah) identificó un ahorro anual de 147,000 dólares por la reparación, supervisión y mantenimiento a las trampas de vapor.

Monitorear Trampas de Vapor Automáticamente. La colocación de monitores automáticos para trampas de vapor en conjunto con un programa de mantenimiento puede ahorrar más energía. Con el uso del control automático se estima ahorrar un 5% adicional al ahorro logrado con el monitoreo y





mantenimiento simple, con una recuperación de la inversión de 1 año.

Reparación de Fugas. Al igual que con las trampas de vapor, las propias tuberías de distribución a menudo tienen fugas que pasan desapercibidas sin un programa de inspección y mantenimiento regular. Además de ahorrar hasta 3% de los costos de energía para la producción de vapor, quien tiene un programa de este tipo puede reducir la probabilidad de tener que reparar fugas mayores. En promedio, la reparación de fugas tiene un período de amortización de 0.4 años.

Recuperación de Vapor Flash. Cuando una trampa de vapor purga condensado se produce vapor flash, debido a los cambios de presión y temperatura que se produce entre las condiciones de la tubería y el medio ambiente. Este vapor puede utilizarse para calefacción o para el precalentamiento de agua de alimentación, desde luego la recuperación depende de la instalación industrial de que se trate.

En las instalaciones donde se tienen sistemas de vapor a diferentes presiones, el vapor flash se puede direccionar al circuito de vapor de menor presión. *Vulcan Chemicals* en *Geismar* (Luisiana) implementó un proyecto de recuperación de vapor flash a uno de los procesos en su planta química. Se recuperó el 100% del vapor flash y se tradujo en un ahorro de energía neta de 2.8%.

Retorno de Condensado. Reutilizar el condensado caliente alimentándolo a la caldera, ahorra energía y reduce la necesidad de agua tratada de alimentación. Los ahorros en los costos de energía y los costos de los productos químicos pueden significar que la construcción de un sistema de tuberías de retorno sea atractiva.

Hay que tener cuidado al diseñar el sistema de recuperación para reducir las pérdidas. El máximo ahorro de energía se estima en 10%, con una amortización de 1.1 años para las instalaciones sin retorno, o bien con retorno insuficiente de condensado. Un beneficio adicional de la recuperación de condensado es la





reducción del flujo de purga, debido a que se ha mejorado la calidad del agua de alimentación.





Tabla 4.3 Resumen de medidas de eficiencia energética en los sistemas de distribución de Vapor. [35]

Medida	Combustible Ahorrado	Recuperación de la Inversión (años)	Otros Beneficios
Mejorar el Aislamiento	3-13%	1.1	
Mejorar Trampas de Vapor	No se conoce		Gran confiabilidad
Mantenimiento a Trampas de Vapor	10-15%	0.5	
Monitorear Trampas de Vapor Automáticamente ¹	5%	1	
Reparación de Fugas	3-5%	0.4	Reduce la necesidad de reparaciones grandes
Recuperación de Vapor Flash / Retorno de Condensados	83% ²		Reducción de costos de tratamientos de agua
Retorno de Condensado Solo	10%	1.1	Reducción de costos de tratamientos de agua

¹ Además de un programa de mantenimiento regular

² Incluye la recuperación de vapor flash de la caldera. Aunque esto representa ahorros reales obtenidos en un caso estudio, parece mucho al alta para ser un número ahorros de aplicación general. Como resultado de ello, no está incluido en nuestra estimación total de ahorros.

4.5 Intercambiadores de Calor – Ensuciamiento. [30, 36]

Los intercambiadores de calor se utilizan en toda la refinería para recuperar el calor de los procesos y transferirlo a los flujos de proceso. Junto a la integración eficaz de los flujos de calor en toda la refinería, la operación eficiente de los intercambiadores de calor es una importante área de interés. En una refinería compleja, la mayoría de los procesos operan a condiciones de alta temperatura y presión; la gestión y optimización de la transferencia de calor entre los procesos es clave para aumentar la eficiencia energética global.

La acumulación de depósitos en los cambiadores de calor y las tuberías impiden la transferencia de calor y demandan mayor consumo de combustible. Por ejemplo, el procesamiento de muchos aceites crudos pesados en los Estados Unidos aumenta los depósitos de coque en los hornos de calentamiento, reduciendo la eficiencia del horno y creando potenciales da falla de los equipos.





Una estimación de la Oficina de Tecnología Industrial del Departamento de Energía de Estados Unidos indicó que los costos por ensuciamiento, como parte de los costos totales de materiales y energía de las refinerías promedio, podrían ser de hasta 2 mil millones de dólares anuales. Se espera que el problema de ensuciamiento aumente con la tendencia a procesar crudos más pesados.

El ensuciamiento se debe al efecto de varias variables de proceso, así como a defectos en el diseño de los intercambiadores de calor y puede darse mediante la combinación de diferentes mecanismos. Para estudiar el ensuciamiento se han utilizado diferentes enfoques, por ejemplo, el uso de sensores que miden propiedades físicas y químicas de las corrientes de entrada y salida de los cambiadores, utilizar recubrimientos que soporten altas temperaturas, usar ultrasonido para escanear el equipo, etc. A nivel mundial, la investigación sobre los mecanismos de deposición sobre las paredes de los equipos y a la búsqueda de materiales que disminuyan dicha deposición.

Actualmente, existen varios métodos para reducir el ensuciamiento enfocados en el control del proceso, el control de temperatura, el mantenimiento regular y la limpieza de los intercambiadores de calor (ya sea mecánica o químicamente) así como el remplazo de tubos utilizando otros materiales y acabados.

Un estudio de las refinerías europeas identificó un ahorro total de energía de 0.7% por la limpieza de los tubos del intercambiador de calor de la UDA y otros hornos con un periodo de recuperación estimado de 0.7 años.

En una auditoría a la refinería propiedad de *Shell* en *Martínez, California* se identificó que el ensuciamiento es un factor importante en los costos por consumo de energía. La limpieza regular de los intercambiadores de calor y el mantenimiento del aislamiento se tradujo en un ahorro anual estimado de más de 14 millones de dólares con una inversión de 9.85 millones de dólares. El periodo de recuperación fue de aproximadamente 8 meses.

Unidad de Destilación Atmosférica UDA (*Crude Distillation Unit*). El ensuciamiento es un factor importante que incide sobre la eficiencia de la UDA. El pre calentador





de crudo es especialmente susceptible al ensuciamiento. El Departamento de Energía publicó un estudio en la UDA de una refinería que procesa 100 000 bbl/día de crudo. La cantidad adicional requerida para operar la unidad con precalentador sucio con respecto a un pre calentador limpio fue de 12.3×10^3 Btu/bbl.

4.6 Integración De Procesos. [30, 36]

La integración de procesos o tecnología pinch se refiere a la explotación de las sinergias potenciales que son inherentes a cualquier sistema que consta de varios componentes que trabajan juntos. En las plantas que tienen calefacción y refrigeración de múltiples demandas, el uso de técnicas de integración de procesos puede mejorar significativamente la eficiencia.

Desarrollada en la década de 1970, ahora es una metodología establecida para procesos continuos. La metodología implica la vinculación de corrientes calientes y frías en un proceso de forma óptima desde el punto de vista termodinámico. La integración de procesos es el arte de asegurar que sus componentes son los adecuados y están acoplados en función del servicio que prestan, su tamaño y capacidad.

El análisis Pinch tiene es un enfoque sistemático para identificar y optimizar la restricción que limita el rendimiento en cualquier proceso de fabricación. Fue desarrollado a finales de 1970 en la Universidad de Manchester, Inglaterra y en otros lugares en respuesta a la "crisis energética" de la década de 1970 y la necesidad de reducir el consumo de combustibles y vapor en las refinerías de petróleo y en plantas químicas, optimizando el diseño de redes de intercambiadores de calor. Desde entonces, este enfoque se ha extendido a la conservación de recursos en general; tiempo, trabajo, energía eléctrica, agua o especies químicas, por ejemplo, el hidrógeno.

La innovación fundamental en la aplicación del análisis pinch fue el desarrollo de "curvas compuestas" para la calefacción y la refrigeración, que representan los





perfiles de demanda de energía y la disponibilidad térmica en general para el proceso en su conjunto. Cuando estas dos curvas se trazan en un gráfico de temperatura-entalpía, revelan la ubicación del “punto pinch” del proceso (el punto de temperatura más cercano), y los requisitos termodinámicos mínimos de calefacción y refrigeración, a los que se les denomina “Los objetivos de energía”

La metodología consiste en identificar primero los objetivos y luego seguir un procedimiento sistemático para el diseño de redes de intercambiadores de calor. La temperatura óptima de aproximación en el “punto pinch” se determina mediante el equilibrio de los intercambios de capital-energía para lograr el retorno de la inversión deseada. El procedimiento se aplica tanto a los nuevos diseños, como a la modernización de las plantas existentes.

Este análisis ha sido documentado extensamente en la literatura. El ahorro de energía usando Análisis Pinch es muy superior al de las técnicas convencionales, tales como la recuperación de calor del gas de combustión de la caldera, el aislamiento y la gestión de purgadores de vapor.

El análisis pinch va más allá del concepto tradicional de optimización de redes de intercambio de calor. Los avances más importantes en el área de aprovechamiento óptimo de la energía incluyen procesos de recuperación de calor alternativos, como las bombas de calor y los transformadores de calor.

Además, el análisis pinch se debe utilizar en el diseño de nuevos procesos y plantas. En los nuevos diseños se pueden identificar oportunidades adicionales para la mejora de la eficiencia energética.

El análisis pinch se ha extendido a la recuperación del agua de servicio debido a que se utiliza en grandes cantidades en las refinerías y a que se consumen importantes cantidades de energía para su pretratamiento, antes de alimentarla a las calderas, así como en el post tratamiento, para su disposición como aguas residuales.





Se ha desarrollado software de optimización para los costos de inversión y operación de agua en refinerías y plantas químicas. Las principales compañías petroleras, por ejemplo, *BP* y *Exxon*, han aplicado el análisis pinch de hidrógeno para refinerías seleccionadas.

El análisis Pinch Total que incorpora la cogeneración se ha aplicado en más de 40 refinerías en todo el mundo, logrando determinar niveles óptimos de servicios en toda la instalación industrial mediante la integración de la calefacción y demandas de los diversos procesos de enfriamiento.

Las principales refinerías que han aplicado el Análisis Pinch total de son: *Amoco*, *Agip (Italia)*, *BP*, *Chevron*, *Exxon (en los Países Bajos y el Reino Unido)*, y *Shell (varias plantas europeas)*. Los ahorros típicos identificados en estos análisis a nivel de sitio son alrededor del 20-30%, aunque el potencial económico que se encontró se limita a 10-15%.

Un análisis total de las instalaciones se llevó a cabo en una refinería de petróleo de la compañía *Elf* en Europa a finales de 1990. La refinería opera 16 procesos que incluyen una UDA, UDV, FCC, reformador, coquer e hidrotratadores. El análisis total de sitio, incluyendo la unidad de cogeneración identificó un potencial de reducción de 16%. Las oportunidades identificadas, incluyendo la conversión de una turbina de contrapresión a una turbina de condensación, y la mejora de la integración de las redes de vapor de baja presión a presión media. Los proyectos económicamente atractivos se traducirían en un ahorro de aproximadamente 12-13 %.

4.7 Unidad de Destilación Atmosférica de Crudo (UDA). [37, 38, 39]

De todos los procesos de la refinería, la destilación atmosférica es la que más energía consume. El consumo de la UDA depende del tipo de crudo procesado. Las compañías que fabrican UDA son empresas globales como *ABB Lummus*, *Kellog Brown & Root*, *Shell Global Solutions*, *Stone & Webster*, *Technip / Elf*, y *UOP*. Los estudios de integración de procesos para las UDA indican reducciones





en el consumo de combustible de entre 10 y 19%, con períodos de recuperación de menos de 2 años.

Una oportunidad interesante es la integración de la UDA y la UDV, que puede conducir a un ahorro de combustible del 10-20% en comparación con las unidades no integradas, con un tiempo de retorno de dinero relativamente corto. El periodo de recuperación depende de varios factores, entre ellos, el diseño original de la refinería, el costo de los cambios necesarios a la red de intercambiadores y de los precios de los combustibles.

Un análisis de la UDA en la refinería de BP en *Kwinana, Australia*, identificó un potencial significativo para la reducción, con una recuperación de la inversión de alrededor de 6 años. Sin embargo, la integración con la unidad de craqueo ofreció mejor oportunidad para reducir la demanda combinada de calefacción en 35-40%, con un periodo de recuperación de 1.6 años.

Craqueo Catalítico en Lecho Fluidizado (FCC). La unidad FCC es un gran consumidor de energía en las refinerías modernas. Se estima que la energía que se consume en el proceso FCC representa el 6% del consumo total de energía.

Los diferentes diseños de unidades FCC varían en el tipo y construcción del reactor, el catalizador utilizado y el grado de integración de calor. Los principales proveedores son *ABB Lummus, Kellog Brown & Root, Shell Global Solutions, Stone & Webster, y UOP*.

La FCC tiene muchas corrientes que necesitan ser calentadas y enfriadas. En las unidades de FCC existentes, la eficiencia energética se puede mejorar mediante la recuperación y el aumento de la integración de calor, cambios en el esquema de flujo de proceso, y la recuperación de energía.

Los diseños de las unidades FCC más antiguas no tienen optimizado el intercambio térmico y generalmente desperdician el calor de corrientes de baja temperatura, que podría utilizarse para precalentar el agua de alimentación de calderas o de alimentación de agua fría.





Hay varias publicaciones sobre la aplicación del análisis pinch a la optimización de procesos de FCCs. La combinación apropiada depende de la alimentación a procesar y los productos de salida. Por otra parte, el costo de la instalación de intercambiadores de calor puede determinar la necesidad de combinaciones menos eficientes.

En una refinería de Rumania, cuya unidad de FCC fue diseñada y construida por la compañía UOP para convertir gasóleo atmosférico y de vacío, se identificaron varias alternativas de reconfiguración para reducir el consumo de servicios. En el estudio se logró reducir los servicios de calentamiento y enfriamiento en 27%, con una recuperación de la inversión de 19 meses.

En una refinería en el Reino Unido se identificaron oportunidades de recuperación de calor en la unidad FCC mediante la instalación de una caldera de recuperación antes del precipitado electrostático, lo que resultó en el ahorro de 210,000 U.S.\$/año con una recuperación de la inversión de 2 años.

Cambios en el número de recirculaciones en el proceso FCC puede mejorar su eficiencia energética, ya que permite una mayor recuperación de calor. Los cambios en las recirculaciones pueden afectar las combinaciones posibles de los disipadores de calor y de las fuentes.

Reformador. En una refinería en el Reino Unido, se realizó un estudio para mejorar el rendimiento del economizador en las calderas de calor residual de dos hornos de reformador. Los cambios se traducirían en un ahorro anual de 140.000 dólares en cada reformador con un período de amortización de 2 años.

Coquizadora. Una simulación de una planta de coquización de la refinería de *Jinling Petrochemical Corp. Nanjing* (China) en 1999, identificó una manera más eficiente para integrar los flujos de calor en el proceso. Al cambiar la distribución de la recirculación los cálculos indicaron una reducción del costo de energía de 100.000 dólares/año.





La destilación es de las operaciones de separación que más energía consume en una refinería. El calor suministrado al re hervidor por medio de calentadores a vapor o de proceso. Existen oportunidades de ahorro de energía en la calefacción mediante la optimización de la columna de destilación.

La composición y flujo de alimentación a la columna de destilación determina la carga térmica que se necesita suministrar, si sus características cambian, con el tiempo y llegan a ser muy diferentes a las de diseño, es necesario revisar la carga térmica a la alimentación. Optimizar la relación de reflujo de la columna puede producir un importante ahorro energético. Se deben registrar los consumos de vapor y/o combustible, la relación de reflujo, la pureza de los productos, entre otras variables de operación para controlar la operación y lograr ahorros de combustible.

Comprobación de Pureza del Producto. Algunas refinerías tienden a purificar los productos por arriba de las especificaciones de calidad, ocasionando consumos de energía innecesarios. Se recomienda disminuir la tasa de reflujo en pequeños incrementos hasta obtener la pureza deseada, disminuyendo la demanda de energía del proceso. Este cambio requerirá ninguna o muy bajas inversiones.

Ajustes Temporales de la Presión de Trabajo. Cuando se trabaja en climas fríos, la presión de operación se puede reducir en función de la temperatura del agua de refrigeración. Desde luego esto no aplica a los procesos de destilación a vacío. Estos cambios de operación generalmente no requieren ninguna inversión.

Reducción de Potencia de la Caldera. Las calderas consumen una gran parte del total de energía de la refinería como parte del proceso de destilación. Mediante el uso de agua fría, la demanda de la caldera puede en principio reducirse, mediante la disminución de la temperatura del condensador.

En un estudio de la utilización de agua fría en una UDA que procesa 100,000 bbl/día de aceite crudo, se tuvo ahorro de combustible de 12.2×10^6 Btu/hr incrementando en 5% el servicio de enfriamiento (2.5×10^6 Btu/hr), utilizando agua de enfriamiento a la entrada del condensador a 50 F. En el estudio se utilizaron





simuladores de proceso y ajustes manuales para ajustar los perfiles de temperatura y flujos de las corrientes de la UDA.

Actualización del Interior de la Columna. Las partes internas dañadas o desgastadas pueden aumentar los costos de operación. Si las partes internas se dañan o se desgastan, disminuye la eficiencia y aumenta la caída de presión. Esto hace que se tenga que aumentar la tasa de reflujo con el consecuente aumento del costo de la energía.

Reparar y substituir los platos dañados o el empaque de la columna regresará la operación a las condiciones de diseño. Al reemplazar los platos, vale la pena considerar los nuevos diseños que generalmente son más eficientes y disminuyen la caída de presión. Este reemplazo puede modificar el número de platos de la columna.

Recuperador de calor (Stripper). Puede suceder que exista un exceso de unidades de recuperación de calor o bien que la temperatura de estos sea muy elevada. La optimización de estos parámetros puede reducir considerablemente el consumo de energía. Esta optimización puede ser parte de una integración de procesos (o análisis pinch).

Destilación Progresiva de Crudo. *Technip y Elf* (Francia) desarrollaron un diseño eficiente para una unidad de destilación de crudo, mediante el rediseño del pre calentador de crudo y la columna de destilación. El tren de precalentamiento en bruto se separa en varias etapas para recuperar las fracciones a diferentes temperaturas. La torre de destilación fue re-diseñada para trabajar a baja presión y las salidas se cambiaron para vincular a los procesos con los productos de la refinería.

El diseño resultó en una reducción del consumo de combustible y una mejor integración de calor (la reducción de la producción de vapor neto de la UDA). *Technip* reportó una reducción de hasta 35% en el uso de combustible en comparación con una UDA convencional. Esta tecnología se ha aplicado en la nueva refinería construida en *Leuna* (Alemania) en 1997 y está siendo utilizado





por otra nueva refinería en construcción en Europa. Debido a los cambios en los productos de la UDA y los cambios necesarios en los flujos intermedios, la destilación de crudo progresiva es especialmente adecuada para nuevas construcciones o grandes proyectos de expansión de destilación de crudo.

4.8 Administración Y Manejo De Hidrogeno. [40, 16]

El hidrógeno se utiliza en la refinería en los procesos de hidrocrqueo y desulfuración. Las principales novedades tecnológicas en la gestión de hidrógeno dentro de la refinería son la integración de procesos de hidrógeno (o cascada de hidrógeno) y la tecnología de recuperación de hidrógeno.

La mayoría de los sistemas de hidrógeno en las refinerías envían este gas puro a los diferentes procesos de la refinería sin integrarlo a los sistemas de intercambio y ahorro de energía. La integración de redes de hidrógeno a la operación de las refinerías es una nueva e importante aplicación del Análisis Pinch. La renovación y adaptación de las redes de hidrógeno existentes a los sistemas de intercambio y ahorro de energía puede lograr considerables ahorros.

En la refinería de BP en *Carson* (California) se integró y optimizó la red de hidrógeno con los procesos de la refinería, obteniendo ahorros de 3.9 millones de dólares anuales con un plazo de recuperación de la inversión de 3 años. Como parte de la evaluación de toda la refinería propiedad de *Shell* en *Martínez*, California, se incluyó el análisis de la red de hidrógeno.

Recuperación de Hidrogeno. El hidrógeno se puede recuperar mediante el enrutamiento de corrientes de hidrógeno de baja pureza a la planta de hidrógeno. También se puede recuperar mediante la instalación de purificadores adicionales para el tratamiento de los gases de escape y de venteo.

Las corrientes gaseosas adecuadas para la recuperación de hidrógeno son las de los gases de escape del hidrocrqueo, hidrotratamiento, coquer, o FCC. Los





criterios para la elección de las tecnologías de recuperación incluyen la presión y bajos contenido de azufre, cloro y olefinas

El hidrógeno se puede recuperar utilizando diversas tecnologías, las más comunes son la adsorción por cambio de presión (ACP), destilación criogénica, y las membranas. La elección de la tecnología de separación depende de la pureza deseada, grado de recuperación, la presión y la temperatura. Varios fabricantes suministran diferentes tipos de tecnologías de recuperación de hidrógeno, incluyendo *Air Products*, *Air Liquide*, y *UOP*.

En general, la tecnología de membranas es la más económica para bajos flujos de procesamiento. Para altas tasas de flujo se recomienda utilizar la tecnología ACP.

Cientos de unidades de ACP se utilizan en todo el mundo para recuperar hidrógeno a partir de diversas corrientes de gas. Se prefiere utilizar las unidades criogénicas si es que también se pueden recuperar otros gases como por ejemplo GLP. Las unidades criogénicas producen gas hidrógeno con pureza hasta de 96%.

Las membranas son una tecnología atractiva para la recuperación de hidrógeno en la refinería. Si el contenido de los productos recuperables es superior a 2-5%, la recuperación es factible económicamente. Las nuevas aplicaciones de membrana para las industrias químicas y refinerías están en desarrollo.

Las membranas para la recuperación de hidrógeno a partir de plantas de amoníaco están en uso desde hace unos 20 años, y se utilizan en diversos diseños de plantas de última generación. Los flujos de gas residual de la refinería tienen una composición diferente, de manera que se necesitan otro tipo de membranas.

Varios proveedores ofrecen las tecnologías de membrana para la recuperación de hidrógeno en la industria de refinación, incluyendo *Air Liquide*, *Air Products* y *UOP*. *Air Liquide* y *UOP* han vendido más de 100 unidades en todo el mundo. El





desarrollo de membranas eficientes y de bajo costo es de interés, se trata de mejorar la relación costo – eficiencia en la recuperación de hidrógeno y lograr procesar corrientes gaseosas con menores concentraciones de hidrógeno.

En la refinería de *Ponca City, Oklahoma*, propiedad de *ConocoPhillips*, se instaló un sistema de membrana para recuperar hidrógeno a partir de las corrientes residuales de los procesos de hidrocrackeo e hidrotratamiento.

Producción de Hidrogeno

Reformador - Adiabático Pre-reformador. Si hay un exceso de vapor de agua disponible en una planta, se puede instalar un pre-reformador antes del reformador catalítico. Se utiliza un catalizador de níquel muy activo para reformar una alimentación de hidrocarburos, utilizando el calor residual (900 F) proveniente de la sección de convección del reformador. Esto puede resultar en un aumento de la producción de 10%.

La planta de amoníaco *Kemira Oy en Rozenburg*, Países Bajos, implementó un pre-reformador adiabático. Los ahorros de energía son del orden del 4% del referido al consumo total de la planta y con un tiempo de amortización de 3 años. *ChevronTexaco* incluyó un pre-reformador en el diseño de la nueva planta de hidrógeno para su refinería en El Segundo, California.

Esta tecnología también puede usarse para aumentar la capacidad de producción sin ningún costo de energía adicional, o para aumentar la flexibilidad de alimentación del reformador. Esto es especialmente atractivo si hay un aumento en la demanda de hidrógeno de la refinería para satisfacer incrementos en desulfuración o tratar crudos pesados. Varios proveedores ofrecen pre-reformadores incluyendo *Haldor-Topsoe, Süd-Chemie, y Technip-KTI*.

4.9 Motores. [41, 42, 43]





Los motores eléctricos se utilizan en toda la refinería, y representan más del 80% del consumo total de electricidad. Las principales aplicaciones son bombas (60%), compresores de aire (15%), ventiladores (9%), y otras aplicaciones (16%).

El uso del "enfoque de sistemas" en el que se incluyen todos los sistemas de motores (bombas, compresores, y ventiladores) para optimizar la oferta y la demanda de servicios de energía, a menudo produce la mayor cantidad de ahorros. Por ejemplo, en el bombeo, un enfoque de sistemas analiza tanto la oferta como de la demanda y cómo interactúan, cambiando el enfoque del análisis de los componentes individuales en el rendimiento total del sistema.

Las siguientes estrategias utilizan el enfoque de sistema e incluyen los factores de velocidad de giro de los motores en operación normal y bajo carga (velocidad ajustable), dimensionamiento correcto del sistema, así como los componentes del sistema de control.

Optimización de Motores.

Dimensionamiento de Motores. Los motores y bombas que no son de tamaño apropiado resultan en pérdidas de energía innecesarias. Cuando los picos de carga se pueden reducir, el tamaño del motor también se puede reducir. La corrección de sobredimensionamiento del motor ahorra 1.2% de su consumo de electricidad (en promedio para la industria de los Estados Unidos), y porcentajes aún mayores para motores más pequeños.

Motores de Alta Eficiencia. Los motores de alta eficiencia reducen las pérdidas de energía a través de un mejor diseño, mejores materiales, tolerancias más estrechas, y técnicas de fabricación mejoradas. Con una instalación adecuada, los motores energéticamente eficientes trabajan a menor temperatura y, en consecuencia, tienen mejores factores de servicio, cojinetes más grandes, mejores aislamientos y menos vibraciones. Sin embargo, a pesar de estas ventajas, menos del 8% de las instalaciones industriales estadounidenses abordan la eficiencia del motor en las especificaciones de compra.





Normalmente, los motores de alta eficiencia se justifican económicamente cuando se necesita reemplazar un motor, pero no es así si se trata de reemplazar uno que todavía está en servicio. La tasa anual de reemplazo de motores es de entre 3 y 12%, dependiendo del mantenimiento y la intensidad del servicio, entre otros factores.

La recuperación de la inversión para los motores individuales varía según el tamaño, el factor de carga y tiempo de servicio. Los mejores ahorros se logran en los motores que funcionan durante muchas horas a cargas elevadas. Al substituir motores viejos, los reembolsos son en promedio de menos de un año considerando solamente los ahorros en el consumo de energía eléctrica.

Para ser considerado eficiente, un motor debe satisfacer los criterios de rendimiento publicados por la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA). Sin embargo, la mayoría de los fabricantes ofrecen motores que exceden significativamente dichos criterios.

Los motores de eficiencia premium pueden amortizarse en poco tiempo, los tiempos de reembolso para motores de 50 HP, en general se recomienda comprar motores de alta eficiencia en comparación con los convencionales, aunque desde luego la inversión inicial es menor en el segundo caso. Re embobinar un motor puede parecer la opción barata. En el plazo inmediato lo es, sin embargo, esta práctica no satisface los estándares de eficiencia de los motores modernos.

Factor de Potencia. Un bajo factor de potencia se traduce en mayores consumos de energía. El factor de potencia puede corregirse minimizando la velocidad en “*ralenti*” de los motores eléctricos, evitando así que funcionen todo el tiempo a su voltaje nominal. Esto se logra a través de substituir los motores por otros eficientes y la instalación de capacitores en el circuito de corriente alterna para reducir el valor de la potencia reactiva del sistema.

Desequilibrios del Voltaje. Estos disminuyen el rendimiento y acortan la vida de los motores trifásicos, ya que provocan desequilibrios de corriente, que se





traducen en pulsaciones de par, aumento de la vibración y tensión mecánica, aumento de las pérdidas y sobrecalentamiento del motor.

Los desequilibrios de voltaje pueden ser el resultado de fallas en la operación de los equipos de corrección de potencia, transformadores defectuosos o circuitos abiertos. Se recomienda que la variación de voltaje en las terminales del motor no sea mayor al 1%, aunque incluso este valor reduce la eficiencia del motor en funcionamiento.

Para un motor de 100 HP funcionando 8000 horas al año, la corrección del desequilibrio de tensión de 2.5% a 1% se traduce en ahorros en el consumo de energía eléctrica de $9\ 500 \times 10^3$ W/hr. El monitoreo regular de la tensión en las terminales de los motores más inspecciones termográficas permite identificar desequilibrios de tensión. Es necesario que las cargas monofásicas se distribuyan de manera uniforme e instalar indicadores de falla de tierra. Las vibraciones del motor arriba de 120 Hz indican desequilibrios de tensión.

Unidades de Velocidad Variable (UVV). Las UVV emparejan la velocidad con los requerimientos de carga para las operaciones del motor. El uso de energía en muchos sistemas centrífugos como bombas, ventiladores y compresores es aproximadamente proporcional al cubo de la velocidad del flujo. Por lo tanto, las pequeñas reducciones en el flujo que son proporcionales a la velocidad del motor a veces pueden producir grandes ahorros de energía.

El retorno de la inversión de instalación de motores de velocidad variable es de un año. La instalación de UVV mejora la productividad general, el control y la calidad del producto y reduce el desgaste en el equipo.

Controles de Voltaje Variable (CVV). Estos controles son aplicables a cargas variables que requieren una velocidad de motor constante.

4.10 Bombas. [42, 43]





En la industria de refinación de petróleo, alrededor del 59% de todo el consumo de electricidad se debe a los motores de las bombas. Esto equivale al 48% de la energía eléctrica total en las refinerías. Hay estudios que indican que se puede ahorrar más del 20% del consumo de energía eléctrica mediante cambios a estos equipos o bien a sus sistemas de control.

Es importante tener en cuenta que los costos iniciales son sólo una fracción del costo total del ciclo de vida de un sistema de bombeo. Los costos de energía, y a veces los gastos de mantenimiento, son mucho más importantes en el costo total durante la vida útil de los sistemas de bombeo. En general, para un sistema de bombeo con una vida útil de 20 años, los costos de capital inicial representan solamente el 2.5% del costo total.

Dependiendo de la aplicación de la bomba, el costo de energía puede significar aproximadamente el 95% del costo total durante la vida útil de la bomba. Por lo tanto, la elección de un sistema de bombeo debe depender principalmente del costo de la energía que consume y no del costo inicial. El diseño óptimo de los sistemas de bombeo debe enfocarse en la optimización del costo del ciclo de vida.

En la referencia [41] se describe el software desarrollado para este fin (OPSOP) indicando varios estudios de caso en los que se muestran grandes reducciones en el consumo de energía y costos de vida útil de un sistema de bombeo completo. Por lo general, este enfoque dará lugar a un ahorro energético del 10-17%.

Hay dos maneras de aumentar la eficiencia del sistema de bombeo, además desde luego, de reducir su uso. Estos son, la reducción de la fricción en los sistemas de bombeo dinámicos (no aplicable a los sistemas de "*lifting*" o estáticas) o bien ajustar el sistema para que se acerque al punto de máximo rendimiento (BEP) en la curva de la bomba.

El correcto dimensionamiento de las tuberías, el revestimiento de la superficie o su pulido y los variadores de velocidad, por ejemplo, puede reducir la pérdida por fricción y aumentar la eficiencia energética. El dimensionar correctamente la





bomba y elegir la bomba más eficiente para el sistema aplicable acercará al sistema al punto de máximo rendimiento en la curva de la bomba.

Operación y mantenimiento. El mantenimiento inadecuado, a veces disminuye la eficiencia del sistema de bombeo, hace que las bombas se desgasten rápidamente y aumenten los costos. Un mejor mantenimiento reducirá estos problemas y ahorrará energía. El mantenimiento adecuado incluye lo siguiente:

- Sustitución de los impulsores desgastados, especialmente en aplicaciones cáusticas o semi-sólidos.
- Inspección y reparación del cojinete.
- Sustitución de lubricación del cojinete, una vez al año o cada seis meses.
- Inspección y sustitución de los sellos de empaque. Es admisible una fuga de los sellos de embalaje por lo general entre dos y sesenta gotas por minuto.
- Inspección y sustitución de los sellos mecánicos. Es admisible una fuga permitida típicamente de una a cuatro gotas por minuto.
- Anillo de desgaste y el reemplazo del impulsor. La eficiencia de la bomba se degrada de 1 a 6 puntos para impulsores menores que el diámetro máximo y con un aumento de espacios libres del anillo de desgaste.
- Comprobación de la alineación de la bomba/motor.

Usualmente los ahorros de energía eléctrica en los servicios de bombeo que se obtienen como resultado del adecuado mantenimiento programado son del orden del 2 al 7%, la recuperación de la inversión suele ser desde inmediata hasta un año.

Monitoreo. Se utiliza para el control de equipos y procesos, así como para detectar problemas, diseñar y operar sistemas de mantenimiento. El monitoreo puede indicar obstrucciones en tuberías, daños al impulsor, succión inadecuada, operación fuera de especificaciones, entre otros. El monitoreo debe incluir:





- Monitoreo de desgaste
- Análisis de vibraciones
- Control de presión y flujo
- Monitoreo de la corriente o la potencia
- Cabeza diferencial y aumento de la temperatura a través de la bomba (también conocido como monitoreo termodinámico)
- Inspección de incrustaciones o acumulaciones en el sistema de distribución

Reducir Necesidad. Pueden utilizarse tanques para estabilizar el flujo, mejorar la eficiencia energética y reducir la necesidad de bombeo. Se puede reducir la presión estática requerida mediante el uso de sifones y la reducción de las velocidades de salida de las boquillas.

Bombas más eficientes. Dependiendo del servicio que prestan, en las refinerías no se acostumbra substituir las bombas mientras estén dando servicio. En las referencias de este subcapítulo se indica que el 16% de las bombas en las instalaciones típicas tiene más de 20 años de antigüedad. Expertos en la industria mencionan que, aunado a la edad de las bombas, se tiene que considerar que la operación de la refinería cambia con el tiempo y es posible que ya no corresponda al diseño original.

Dimensionamiento correcto de la bomba(s). La elección de la bomba adecuada previendo las necesidades actuales y futuras, ahorrará en los costos de operación y de inversión. Las bombas de tamaño inapropiado resultan en pérdidas innecesarias, cuando se pueden reducir los picos de carga, el tamaño de la bomba también se puede reducir.

Evitando el sobredimensionamiento de las bombas se puede ahorrar del 15 al 25% del consumo de electricidad para los servicios de bombeo. Además, la carga de la bomba se puede reducir mediante configuraciones de bombeo alternativas, así como mejorando las prácticas de operación y mantenimiento. Cuando las





bombas son de gran tamaño, se puede reducir la velocidad con el engranaje, las correas de transmisión o motores de menor velocidad. Los reembolsos de este tipo de soluciones son menos de un año.

En la refinería de *Chevron* en *Richmond, California*, se identificaron dos bombas secundarias de alta potencia en la planta de mezcla y envío, que fueron sobre dimensionadas. Las bombas de 400 HP y 700 HP se reemplazaron por dos bombas de 200 HP de velocidad variable. El consumo de energía se redujo en 4.3×10^3 millones de Watt por hora al año, y dio lugar a un ahorro anual de 215,000. Con una inversión de 300,000 dls, el periodo de recuperación fue de 1.4 años.

En una planta de tratamiento de aguas residuales de tamaño medio ubicada en *Milford, Connecticut* se substituyó una de las tres bombas (de igual tamaño y modelo) de su sistema, con un modelo más pequeño. Encontraron que la bomba más pequeña podía manejar eficientemente los flujos típicos del sistema y las dos bombas más grandes podrían usarse de reserva para los flujos máximos.

La bomba más pequeña requería de más tiempo para manejar el mismo volumen total, su menor velocidad y presión resultaron en menos pérdidas de fricción y menos desgaste. Substituyendo la bomba más pequeña se logra ahorrar más del 20% del consumo de energía eléctrica anual del sistema de bombeo.

El uso de este sistema en cada una de las 36 estaciones de la ciudad se traduciría en un ahorro de más de 100,000 dls. Además de los ahorros de energía el menor desgaste del sistema se traduce en menos mantenimiento, menos tiempo de paro y mayor vida útil de los equipos. El ruido de la estación se reduce significativamente con la bomba más pequeña.

Uso de Bombas Múltiples. Con frecuencia, el uso de múltiples bombas es la solución más eficiente y de mayor costo-beneficio para cargas variables, particularmente en sistemas de cabezal estático. La instalación de sistemas





paralelos para cargas muy variables ahorra del 10 al 50% del consumo de electricidad para el bombeo.

Un estudio de caso de una planta de pulpa y papel finlandesa indicó que la instalación de una pequeña bomba adicional, que trabaja en paralelo con la bomba existente y se utiliza para circular el agua de la máquina de papel en dos tanques, reduce la carga de la bomba más grande en todos los casos, excepto para el inicio. El ahorro de energía se estimó en 36,500 dls por año con una recuperación de la inversión de 6 meses.

Recorte del Impulsor. Si existe un gran incremento de presión entre la entrada y salida de la bomba puede recortarse el diámetro del impulsor para disminuir el cabezal de la bomba. En las industrias de procesamiento de alimentos, papel y petroquímica, el recorte de impulsores o disminuir la relación de transmisión puede ahorrar hasta el 75% del consumo de energía eléctrica.

En un estudio de caso en la industria de procesos químicos, el impulsor de una bomba se redujo de 320 mm a 280 mm, lo que redujo el consumo de energía en más del 25%. Además del ahorro de energía, los costos de mantenimiento se redujeron, la estabilidad del sistema se mejoró, la cavitación se redujo, y se eliminaron la vibración excesiva y el ruido.

En otro estudio de caso, *Salt Union Ltd.*, el mayor productor de sal en el Reino Unido, recortó el diámetro de un impulsor de 320 mm a 280 mm. Después de recortar el impulsor, se observaron reducciones en el consumo de energía eléctrica de 30%. Se ahorraron $197,000 \times 10^3$ Wh al año por un importe de 8,900 libras esterlinas. Además del ahorro de energía y mantenimiento, al igual que la planta de procesamiento de productos químicos, la cavitación se redujo y la vibración excesiva y el ruido fueron eliminados.

Controles. La estrategia de control es apagar las bombas que no sean necesarias y/o reducir la carga de las bombas individuales hasta que se necesite. Los mandos a distancia permiten a los sistemas de bombeo poder iniciar y detener con mayor rapidez y precisión y reducir la mano de obra necesaria.





Unidades de Velocidad Variable (UVV). Las UVV acoplan la velocidad de la bomba con la carga requerida, para motores, el uso de energía es aproximadamente proporcional al cubo del flujo, por lo que pequeñas reducciones de flujo pueden resultar en grandes ahorros de energía con recuperación de la inversión en corto tiempo. Además, la instalación de UVV's mejora la productividad general, el control y la calidad del producto y reduce el desgaste en el equipo, reduciendo así los costes de mantenimiento futuros.

En la referencia [43] se indica que el 82% de las bombas en la industria estadounidense no cuentan con ajuste de carga (o UVV). Se estima que instalar dicho ajuste ahorra entre el 20 y 50% del consumo de energía de la bomba, con períodos cortos de recuperación de la inversión, dependiendo de la aplicación, el tamaño de la bomba, la carga y la variación de carga. Como regla general, a menos que las curvas de la bomba sean excepcionalmente planas, un 10% de regulación de flujo produce ahorros de 20%.

En el año 2000, en la refinería de *ChevronTexaco* en *Richmond* (California), se actualizaron las bombas de alimentación del proceso de hidrotratamiento de diésel instalando un UVVS en una de las bombas de alimentación primarias de 2250 HP, así como el cambio de los procedimientos de operación del sistema de bombeo de reserva. El ahorro asciende a 700,000 dls/año por la reducción del consumo de electricidad en 12×10^9 Wh/año.

En la referencia [41] se describe la aplicación de una UVV para reemplazar una válvula reguladora en un nuevo sistema de bombeo. En la optimización del diseño, utilizando un paquete de software especializado, se llegó a la recomendación de instalar una UVV. Esto daría lugar a reducir en 71% el costo del consumo de energía durante la vida útil del sistema y una reducción del 54% en los costos totales a lo largo de toda la vida del sistema.

Evitar Válvulas de Estrangulamiento. Se recomienda evitar el uso de válvulas de estrangulamiento o bucles de derivación debido a que pueden requerir bombas de gran tamaño. Los controladores de velocidad o sistemas regulados de





encendido/apagado siempre ahorran energía en comparación con las válvulas de estrangulamiento.

En una auditoría practicada a la refinería *Flying J.* de 25,000 bpd, en *Salt Lake City (Utah)* se identificaron pérdidas por estrangulamiento en dos bombas de carga de 200 HP. De reducirse estas pérdidas al mínimo, se tendrían ahorros de 39,000 dls/año. Apagar automáticamente una bomba de 250 HP cuando no se usa e introdujo ahorro adicional de 28,000 dls/año.

Correcto Dimensionamiento de Tubería. Similar a las bombas, las tuberías de tamaño insuficiente también dan lugar a pérdidas innecesarias. El diámetro de las tuberías se selecciona en base a la economía de toda la instalación, la velocidad de flujo más baja requerida, y el diámetro interno mínimo para la aplicación, la velocidad de flujo máxima para minimizar la erosión en tuberías y accesorios, y diámetros de tubería estándar de la planta.

El aumento del diámetro de la tubería puede ahorrar energía, sin embargo, no debe perderse de vista que hacerlo requeriría cambios en los componentes del sistema de bombeo. En la industria de la pulpa y papel de Estados Unidos se estima que adecuar los diámetros de tubería ahorra en promedio de 5 a 20% del consumo de energía. El correcto dimensionamiento de la tubería debe hacerse en las etapas de diseño o en la modernización del sistema, donde los costos pueden no ser restrictivos.

Reemplazo de la Banda. Instalar acoplamientos directos en vez de bandas puede ahorrar energía. Se estima que al hacerlo se obtienen ahorros del orden del 1%, no debe pasarse por alto el costo de modificar los elementos del sistema de bombeo ya que se requiere mano de obra y tiempo.

Piezas de Fundición, Recubrimientos Superficiales, o Pulido. El uso de piezas de fundición, revestimientos, o pulido reduce la rugosidad superficial que, a su vez, aumenta la eficiencia energética. También puede ayudar a mantener la eficiencia en el tiempo. Esta medida es más eficaz en las bombas más pequeñas.





Un estudio de caso en la industria del acero analiza la inversión en revestimiento de la superficie de las bombas de suministro del molino (bombas de $350 \times 10^3 \text{ W}$). Se determinó que el costo adicional del recubrimiento, 1,200 dls, se recuperaría en 5 meses a través del ahorro de energía de 2,700 dls (o $36 \times 10^6 \text{ Wh}$, 2%) por año. Los ahorros de energía para las superficies de recubrimiento de la bomba se estiman en 2 a 3% con relación a las bombas sin recubrimiento.

Sellos. Se estima que el 70% de las fallas en las bombas se debe a fallas de los sellos. El uso de sellos adecuados, su revisión, mantenimiento y cambio programado optimiza la eficiencia de las bombas.

Contención de Fugas a través de la Reducción de Holguras. Las pérdidas por fugas internas son el resultado de la presión diferencial a través de la holgura entre el impulsor y la carcasa de la bomba. Cuanto mayor sea el espacio libre, mayor es la fuga interna. El juego normal en bombas nuevas oscila entre 0.35 a 1.0 mm.

Con mayores holguras, la fuga aumenta casi linealmente con la distancia. Por ejemplo, un espacio libre de 5 mm disminuye la eficiencia entre 7 y 15% en impulsores cerrados y de 10 a 22% en impulsores semi-abiertos. Los líquidos abrasivos pueden afectar la eficiencia de la bomba. El uso de materiales de construcción muy duros, como el acero inoxidable, por ejemplo, puede reducir la tasa de desgaste.

Bombas de Vacío en Seco. Las bombas de vacío en seco se introdujeron en la industria de semiconductores en Japón a mediados de la década de 1980, y se introdujeron en la industria química de Estados Unidos a finales de 1980. Las ventajas de una bomba de vacío en seco son su alta eficiencia energética, mayor fiabilidad, y menor contaminación del aire y agua. Se espera que las bombas de vacío secas desplazarán a las bombas de sello de aceite.

Las bombas secas tienen importantes ventajas en aplicaciones donde la contaminación es una preocupación. Los altos costos de inversión de una bomba en seco, no permiten que esta tecnología se use intensivamente en la industria de





refinación del petróleo, excepto para aplicaciones especiales donde el control de la contaminación es muy importante.

4.11 Compresores de Aire. [41, 43]

Los compresores consumen cerca del 12% del total de electricidad en las refinerías. Los compresores se usan principalmente en los hornos y en el transporte de las corrientes de aire y gas. Los grandes compresores son accionados por motores eléctricos y por turbinas de vapor o gas. Una parte relativamente pequeña de la capacidad de compresión se destina a generar aire comprimido, que es probablemente la forma más cara de llevar energía de un lado a otro de la planta, debido a su baja eficiencia.

El costo anual de operación de compresión de aire rebasa al costo inicial. Debido a esto, los sistemas neumáticos a base de aire comprimido deben reducirse al mínimo.

Mantenimiento. El mantenimiento inadecuado disminuye la eficiencia, aumenta las fugas y la variabilidad de la presión y conduce a mayores temperaturas de operación, malos controles de humedad y contaminación excesiva. Un mejor mantenimiento reducirá estos problemas y ahorrará energía. El mantenimiento incluye lo siguiente:

Los filtros sucios y bloqueados aumentan la caída de presión. Hay que mantener las superficies de enfriamiento limpias y sin obstrucciones. A través de la revisión periódica se deben mantener los filtros limpios y reemplazar los defectuosos, evitando el desgaste prematuro del compresor. Se prefiere el uso de filtros con caídas de presión de 1 psi. El costo de limpiar filtros se recupera en menos de dos años.

Por lo general, cuando la caída de presión excede 2 a 3 psig hay que reemplazar el aceite lubricante y sus elementos móviles. Inspeccione todos los elementos al menos anualmente. Considere también colocar filtros paralelos para disminuir la





velocidad y por lo tanto la caída de presión. Se logra una reducción del 2% anual en la energía consumida con los cambios de filtro más frecuentes. Hay que ser muy cuidadosos al usar filtros de coalescencia, la eficiencia puede llegar a ser inferior al 30% con relación al flujo de diseño.

Un enfriamiento deficiente puede aumentar la temperatura y acortar la vida del motor, además de aumentar el consumo de energía. Mantenga los motores y los compresores lubricados y limpios. El aceite lubricante debe ser muestreado y analizado cada mil horas de trabajo y asegurarse de que se mantenga en el nivel adecuado, la lubricación ayuda a evitar la corrosión y falla del sistema.

Inspección. Revise los ventiladores y asegure que operan correctamente. Inspeccione periódicamente las trampas de drenado de agua de humedad para asegurarse de que están limpias y no están atoradas. Algunos operadores mantienen las trampas de condensado parcialmente abiertas todo el tiempo para asegurarse de que están drenando constantemente. Esta práctica desperdicia cantidades importantes de energía y nunca debe usarse, en su lugar instale válvulas sencillas con sensor de presión.

Las trampas que funcionan mal deben limpiarse y repararse en vez de simplemente dejarlas abiertas. Algunos drenadores automáticos no desperdician aire, por ejemplo, los que abren cuando hay condensado presente. De acuerdo a los fabricantes la inversión de inspeccionar y mantener los drenadores se recupera en menos de 2 años.

Inspeccione el desgaste de las bandas y ajústelas. Una regla útil es ajustarlas cada 400 horas de operación. Inspeccione los sistemas de enfriamiento con agua. Verifique la calidad del agua (pH y sólidos totales disueltos), flujo y temperatura. Limpie y reemplace los filtros y cambiadores de calor de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Minimice las fugas. Especifique los mecanismos reguladores de cierre ante una falla.





Verifique que los equipos y sistemas que requieren usar aire comprimido no estén operando a sobre presiones, tiempos o volumen excesivo. Deben mantenerse regulados ya sea mediante reguladores de presión o por medio de monitoreo de las líneas de alimentación. Todo equipo que no requiera operar a la máxima presión del sistema debe tener instalado un regulador de presión de Buena calidad. El equipo no regulado opera a la presión máxima del sistema todo el tiempo y desperdicia energía. Presiones de operación muy altas se traducen en vida más corta del equipo y mayores costos de mantenimiento.

Monitoreo. El monitoreo y mantenimiento adecuados pueden ahorrar mucho dinero y energía en los sistemas de aire comprimido. El monitoreo adecuado incluye lo siguiente:

- Medidores de presión en cada equipo línea o derivación principal.
- Medidores de temperatura a través del compresor y su sistema de enfriamiento para detectar fallas y obstrucciones.
- Medidores de flujo para asegurar la cantidad de aire usado.
- Medidores de temperaturas de rocío para monitorear la efectividad de los deshidratadores de aire.
- Medidores de cantidad de energía usada Kwh., y medidores de horas de funcionamiento del compresor.

El Sistema de distribución de aire comprimido debe inspeccionarse cuando se haya reconfigurado el equipo para asegurarse de que no está fluyendo aire hacia equipo que no se usa o hacia partes obsoletas del sistema de distribución.

Verificar restricciones de flujo de cualquier tipo en el sistema, como por ejemplo rugosidad y sedimentos. Las obstrucciones provocan mayores presiones de operación y esta a su vez sobrecarga la demanda de potencia de alimentación en 1% por cada 2 psi de presión diferencial. Usualmente se tienen las mayores caídas de presión en los puntos de uso incluyendo accesorios, tuberías de





menores diámetros, filtros, desconexiones, reguladores, válvulas y lubricadores, separadores de aire/lubricante, humedad, sobre enfriadores, secadores y filtros

Reducir fugas en tuberías y equipo. Las fugas significan energía desperdiciada. Una instalación con mantenimiento deficiente puede tener fugas que representan entre el 20 y 50 % de su capacidad. La reparación y el mantenimiento pueden reducir esto a menos del 10%. Se estima que se puede lograr reducir en 20% el consumo anual de energía de los sistemas de aire comprimido si se le da mantenimiento adecuado y se eliminan las fugas.

Reducir la temperatura del aire de entrada. Al reducir la temperatura del aire de alimentación al sistema, se reduce la energía que consume el compresor. En muchas plantas esto se logra colocando la succión fuera del edificio. La inversión para capturar aire fresco puede pagarse en menos de 5 años, dependiendo de la colocación del compresor. Como regla heurística, cada reducción de 3 C ahorrará un 1% de la energía que consume el compresor.

Maximizar la presión de rocío tolerable en la succión de aire. Elegir el secador que tiene el punto de rocío tolerable más alto y la mayor eficiencia. Una heurística es que los desecadores consumen entre el 7 y el 14 % de toda la energía que consume el compresor, mientras que los desecadores refrigerados consumen de 1 a 2 % del total de energía que consume el compresor. Considere usar compresores de punto de rocío flotante.

Controles. Recordar que el total de aire requerido es la suma de los consumos promedio de consumo del equipo neumático y no la de los máximos de cada parte. El objetivo de cualquier estrategia de control es apagar cualquier compresor que no se necesite o dilatar el arranque hasta que se le requiera. Todos los compresores requeridos deben funcionar a carga máxima, excepto uno que debe manejar el servicio mínimo indispensable.





Reguladores dimensionados adecuadamente. Se pueden lograr considerables ahorros si los reguladores están bien seleccionados, así se evita manejar excesos de flujo de aire, se recomienda especificar reguladores de presión que cierren en caso de falla.

Dimensionar correctamente el diámetro de la tubería. Si la tubería está mal dimensionada puede originar pérdidas de presión, fugas e incrementar los costos. El diámetro de la tubería debe ajustarse a las especificaciones recomendadas por el fabricante de los compresores. Aumentar el diámetro de las tuberías se traduce en un 3% anual en el consumo de energía.

Recuperación de calor para el precalentamiento de agua. Entre el 80 y el 93 % de la energía eléctrica que consume un compresor se convierte en calor. En muchos casos una unidad de recuperación de calor puede recuperar entre el 50 y el 90% de la energía disponible para calentar el lugar, calentar agua de proceso, acondicionamiento de aire, etc. La inversión realizada se recupera en menos de un año. En los compresores enfriados por agua se obtienen eficiencias de recuperación de entre el 50 y 60 %.

4.12 Ventiladores. [43]

Los ventiladores se usan en los hervidores, hornos, torres de enfriamiento y muchas otras aplicaciones. Hay oportunidades de mejorar el desempeño y eficiencia de energía de los ventiladores. Las eficiencias de los sistemas de ventilación varían dependiendo del diseño de los impulsores, sin embargo, la eficiencia costo efectividad depende principalmente de las características de los sistemas individuales.

Sobre Dimensionamiento. La mayoría de los ventiladores están sobre dimensionados para la aplicación en particular, lo que se traduce en pérdidas de





entre 1 al 5 % de eficiencia. Con frecuencia es mejor desde el punto de vista costo efectivo controlar la velocidad de giro que reemplazar el ventilador.

Unidad de Velocidad Variable. Se pueden lograr ahorros significativos instalando transmisiones de velocidad ajustable, los ahorros pueden variar entre 14 y 49 %.

Una auditoría de la refinería de asfalto de la *Paramount Petroleum Corp.* en *Paramount* (California) identificó la oportunidad de instalar UVV's en seis motores en la torre de refrigeración (que van desde 40 HP hasta 125 HP). Los motores están actualmente operados manualmente, y son de gran tamaño para el funcionamiento en el invierno. Si se hubieran instalado UVV's en los seis motores para mantener la temperatura del agua fría su podría haber alcanzado un ahorro de electricidad de 1,2 millones de kWh/año. La recuperación de la inversión sería relativamente alta, debido al tamaño de los motores, alrededor de 5.8 años, lo que es un ahorro anual de 46.000 dls.

Cinturones de Alta Eficiencia (cinturones Cog). Los cinturones conforman una parte variable, pero significativa del sistema de ventilación en muchas plantas. Se estima que aproximadamente la mitad de los sistemas de ventiladores usan cinturones V- estándar, y cerca de dos tercios de éstos podrían ser sustituidos por correas dentadas más eficientes. Las correas trapezoidales estándar tienden a estirarse, deslizarse, doblar y comprimir, que conducen a una pérdida de eficiencia.

La sustitución de las correas trapezoidales estándar con correas dentadas puede ahorrar energía y dinero, así como una modificación. Las correas dentadas funcionan a menor temperatura, duran más tiempo, requieren menos mantenimiento y tienen una eficiencia de alrededor del 2% por encima de las correas trapezoidales estándar. Los períodos de recuperación típicos varían desde menos de un año a tres años.





4.13 Iluminación. [16, 20, 21]

El alumbrado y otros servicios representan menos del 3% del consumo de electricidad de las refinerías, no obstante, pueden lograrse mejoras.

Controles de iluminación. Las luces pueden apagarse durante las horas de trabajo no laborables mediante controles automáticos como sensores de movimiento y de ocupación que pueden apagar las luces cuando no haya necesidad.

Instale lámparas de alta intensidad luminosa y bajo consumo de energía. Los ingenieros en iluminación pueden seleccionar los dispositivos de iluminación más adecuados de bajo consumo de energía eléctrica, tomando en consideración las normas internacionales que cubren los aspectos intensidad de iluminación, seguridad industrial y mantenimiento.

Reemplace las balastras magnéticas por electrónicas. La balastra es un dispositivo que regula la corriente eléctrica que se necesita para el arranque de las lámparas y mantiene una alimentación de corriente eléctrica estable. Las balastras electrónicas ahorran entre 12 y 15 % de la energía eléctrica necesaria para un servicio dado con relación a los anteriores dispositivos magnéticos de embobinados magnéticos.

Reflectores. Un reflector es un componente parecido a un espejo con una superficie pulida que dirige la luz en la dirección requerida reduciendo la pérdida de intensidad luminosa. Los reflectores pueden minimizar la potencia eléctrica requerida de iluminación.

Diodos emisores. Las lámparas a base de diodos emisores de luz LEDs se utilizan cada vez más y reemplazan con gran ventaja a las lámparas convencionales incandescentes o fluorescente. Una forma simple de ahorrar es simplemente reemplazar las lámparas existentes por otras a base de LEDs.





Mejorar el sistema de alumbrado. Combinar las recomendaciones anteriores puede ser la manera más efectiva de reducir el consumo de energía para alumbrado. Balastras de alta frecuencia, reflectores adecuados, interruptores con sensor de presencia o movimiento y programadores de tiempo pueden combinarse para diseñar un sistema de alumbrado más eficiente y obtener ahorros del orden de 50 a 60 % con base al consumo actual.

Reducir el voltaje del sistema puede ahorrar energía. Un fabricante de automóviles en Estados Unidos instaló lámparas de alta intensidad luminosa y bajo voltaje logrando reducir en un 30% sus costos de iluminación. Se encuentra a la venta en el Mercado de Estados Unidos el sistema *Energy Saver*, una unidad que se conecta a un panel central que direcciona y/o restringe el flujo de energía eléctrica con una reducción de intensidad luminosa imperceptible.

4.14 Cogeneración. [16, 24, 44, 45]

La industria de la refinación requiere generar grandes cantidades de vapor de agua como medio de trasladar energía de un punto a otro dentro de sus instalaciones. De aquí que la industria de la refinación tenga un gran potencial de cogeneración y por consiguiente de exportación de energía eléctrica.

Las refinerías manejan instalaciones donde funcionan procesos que utilizan calor, vapor, enfriamiento y electricidad en grandes cantidades. Si se operan como plantas de cogeneración, son significativamente más eficientes que las plantas generadoras de potencia convencionales, debido a que aprovechan corrientes calientes de los procesos de la refinería

En Estados Unidos operan compañías que funcionan como terceros en el negocio de la cogeneración. Construyen y operan plantas de cogeneración para las refinerías y le suministran energía eléctrica tanto a la refinería como a la red de distribución eléctrica.





En este escenario, el tercero es el propietario y operador del sistema para la refinería, que evita el gasto de capital asociado a la planta de generación y además obtiene parte de los beneficios de un sistema de suministro de energía eléctrica y calor más eficiente

Alrededor del 60% de las instalaciones de cogeneración dentro de las refinerías en ese país son construidas y operadas por terceros, Por ejemplo, en 2001 la refinería de BP en *Whiting*, Indiana instaló una planta nueva de cogeneración de 525×10^6 W con una inversión total de 250 millones de dólares, aportados por la empresa *Primary Energy Inc.* que es la empresa que funciona como tercera que se encargó de la construcción y maneja la operación.

Turbinas con inyección de vapor. Estas turbinas pueden utilizar vapor de exceso, por ejemplo, en verano cuando se reduce la demanda de calefacción, turbinas con potencia desde 5 hasta 125×10^6 W se han instalado en diferentes partes del mundo, por ejemplo, Japón, Europa y los Estados Unidos

Los ahorros en el costo de la energía y la recuperación de la inversión dependen de las circunstancias locales, como la distribución del consumo y las condiciones de ventas.

La eficiencia de las turbinas de vapor depende de la presión y temperatura de entrada y salida del vapor. Cada turbina se diseña para ciertos valores de temperatura y presión. Los operadores deben cerciorarse de que estas se mantengan. Un decremento de 18 F en la temperatura de entrada reduce la eficiencia de la turbina de vapor en 1.1%. Mantener la salida a presiones de vacío en una turbina de condensación o la presión de salida de una turbina de retro presión muy alta se traduce en pérdidas de eficiencia.

La refinería de Valero en Houston construyó una unidad de cogeneración en 1990, usando dos turbinas de gas y dos recuperadores de calor proveniente del sistema





de calderas. El sistema suministra toda la electricidad que requiere la refinería y permite ocasionalmente exportar a la red. Este sistema le ahorra a la refinería alrededor de 55,000 dólares diarios.

Aun para refinerías pequeñas, la cogeneración es atractiva. Una auditoría practicada a la refinería de asfalto de *Paramount Petroleum Co.* en California indicó que se podrían obtener ahorros anuales de 3.8 millones de dólares con un período de 2.5 años para la recuperación de la inversión, instalando una unidad de cogeneración de 6.5×10^6 W, se instaló en 2002.

Turbinas de Expansión de Gas. El gas natural frecuentemente se entrega a una refinería a presiones muy altas desde 200 a 1500 psi. Las turbinas de expansión utilizan la caída de presión del gas para generar potencia. Una turbina de expansión de gas incluye tanto un mecanismo de expansión como un generador de electricidad, estas turbinas se han usado para licuar aire en la industria química por décadas.

Una turbina de expansión simple consiste de un eje al que se han acoplado boquillas de expansión que mueve el rotor de un generador, se instalan en paralelo a las válvulas de expansión de gas en las plantas criogénicas en las que se reduce la presión del gas. Si el flujo de gas es muy bajo o falla la turbina, la presión se reduce de la manera tradicional. La caída de presión en el ciclo de expansión causa un descenso de temperatura. Las turbinas se construyen para soportar temperaturas muy frías, la mayoría de las válvulas y las especificaciones de las tuberías no permiten descensos por debajo de -15 C por lo que se necesita calentar el gas justo antes o después de la expansión.

Conforme condensan los hidrocarburos más pesados, el gas puede alcanzar suficiente humedad a bajas temperaturas para solidificar, es por ello que se necesita calentar justo antes o después de la expansión. El calentamiento generalmente se hace ya sea con una unidad de cogeneración o una fuente





cercana de calor. Las refinerías usualmente pueden suministrar calor de desecho a bajas temperaturas, lo que las hace ideales para instalar una turbina de recuperación de potencia.

En 1994 el complejo acerero de *Corus* en Holanda instaló una turbina de recuperación de potencia de 2×10^6 W. El Molino recibe gas a 930 psi, precalienta el gas y lo expande con la turbina a 120 psi. El flujo máximo de la turbina es 1.4 millones de pies cúbicos por hora (MMpie³/h) mientras que la turbina recibe en promedio un flujo de .9 (MMpie³/h). La turbina recibe agua de enfriamiento proveniente del Molino caliente a aproximadamente 70 C para precalentar el gas. La turbina de 2×10^6 W generó aproximadamente 11×10^9 Wh en 1994 mientras que el *Molino* entregó alrededor de 12.5×10^9 hacia el flujo de gas en ese año. Es decir, se recuperó alrededor del 88% de la carga térmica entregada al gas, en forma de electricidad.

Turbinas de expansión de vapor. El vapor se genera a altas presiones y frecuentemente se reduce su presión para usarse en diferentes procesos. El vapor que se genera a 120 – 150 psig se distribuye dentro de la planta y se le disminuye su presión de acuerdo a como se requiera en los diversos lugares dentro de la planta. Una vez que se ha extraído el calor contenido en el vapor se regresa el condensado a las calderas.

Por lo general la reducción de presión se realiza con válvulas de expansión, que no recuperan la energía debida a la caída de presión. Esta energía podría recuperarse usando micro turbinas de retro presión. La viabilidad de su aplicación depende de la refinería y sus sistemas de vapor de servicio. La aplicación de esta tecnología ha demostrado ser rentable para las industrias del papel, alimentos, pero todavía no en las refinerías. Se estima que la inversión en este tipo de equipos es de 600 dólares/kW con costos de operación y mantenimiento de 0.011 dólares/kWh.





Cogeneración a alta presión. Las turbinas pueden acoplarse a columnas de destilación de crudo o bien a otro proceso continuo que opere en niveles de temperatura que den lugar a un gradiente conveniente. Los gases de escape de la turbina de gas se pueden usar para suministrar calor al horno de la columna de destilación, si las temperaturas de salida de la turbina son suficientemente altas. Una opción es reemplazar los ventiladores de aire en el horno por la turbina de gas. Los gases de escape todavía contienen una considerable cantidad de oxígeno y pueden usarse como aire de combustión para los hornos.

Otra opción con mayor potencial de cogeneración y los ahorros de energía asociados es la cogeneración a alta presión. En este caso, los gases de salida de una planta de cogeneración se usan para calentar la alimentación de un horno o para precalentar el aire de combustión. Aquí se requiere reemplazar los hornos existentes debido a que la transferencia de calor es bastante menor que la de los gases de combustión por su menor temperatura.

4.15 Generación de Potencia. [16, 24, 44, 45]

La mayoría de refinerías tiene generadores de potencia de respaldo. De hecho, pueden generar potencia eficientemente combinando la generación de calor y de energía eléctrica, lo que se conoce como plantas combinadas. Se aprovecha la oportunidad de utilizar los combustibles que se producen dentro de la refinería para producir energía eléctrica, lo que implica flexibilidad y autonomía de operación e inclusive alimentar energía excedente a la red de distribución de electricidad del área.

Los beneficios de exportar energía eléctrica a la red dependen de la localización de la refinería, ya que no siempre se permite vender energía eléctrica a otros consumidores usando la red de distribución





4.16 Otras áreas de oportunidad. [16, 24, 44, 45]

Gasificación. La Gasificación es otra oportunidad de cogeneración utilizando la fracción pesada de los fondos de refinería, así como los residuos. Debido al creciente uso de crudos pesados las refinerías tienen que manejar cada vez mayor cantidad de residuos e hidrocarburos pesados. Los procesos de gasificación de fracciones pesadas y coque para producir gas de síntesis pueden ayudar a remover eficientemente estos sub productos.

Los procesos modernos de gasificación combinan los sub productos pesados con oxígeno a altas temperaturas en una cama de gasificación, si se limita el suministro de oxígeno la fracción pesada se gasifica en una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno que se puede usar como alimentación a varios procesos petroquímicos.

La aplicación más atractiva parece ser la generación de potencia en un ciclo combinado de gasificación integrada. Aquí el gas de síntesis se quema en una turbina de gas (con una cámara de combustión adaptada para manejar el gas de capacidad calorífica que va de baja a intermedia calorífico) generando electricidad.

El proceso de gasificación de ciclo combinado es atractivo comparado con la sola combustión del residuo ya que es una forma de aprovechar los residuos y fondos de refinería produciendo gas de síntesis y/o electricidad, reduciendo las emisiones de SO_x y NO_x a la atmosfera que la simple quema de los residuos originaría.

El proceso de gasificación integrado se usa en la refinería de *Pernis* en Holanda para tratar residuos de la unidad de hidrocraqueo y otros más para generar 110×10^6 W de potencia y 285 toneladas de hidrógeno para la refinería. La refinería





IPA de *Falconara* Italia use el ciclo integrado para tratar el residuo de la reductora de viscosidad produciendo 241×10^6 W de potencia.

Sistemas de Monitoreo y Control de Proceso. La medición y registro de las variables de proceso, es una actividad fundamental en la operación y control de las refinerías, las instalaciones que cuentan con avanzados sistemas automáticos de monitoreo y control, son las que operan de forma más económica y eficiente.

El uso de sistemas de control de procesos y de monitoreo de energía pueden jugar un papel importante en la gestión de la energía y en la reducción de consumo de energía. Estos pueden incluir sub-medición, monitoreo y sistemas de control. También pueden reducir el tiempo necesario para realizar tareas complejas, a menudo mejorar el producto y los datos de calidad y consistencia, así como optimizar las operaciones de proceso.

Por lo general, el ahorro de energía y de costos es alrededor de 5% o más para muchas aplicaciones industriales de sistemas de control de procesos. Estos ahorros se aplican a las plantas sin sistemas de control de procesos actualizados; muchas refinerías ya pueden contar con sistemas de control de procesos modernos en marcha para mejorar la eficiencia energética.

Aunque los sistemas de gestión de la energía ya están ampliamente difundidos en diversos sectores industriales, el rendimiento de los sistemas todavía se puede mejorar, reducir costos y aumentar el ahorro de energía aún más. Por ejemplo, los sistemas totales de seguimiento y gestión de la energía pueden aumentar el intercambio de flujos de energía entre las plantas en un sitio. Tradicionalmente, sólo un proceso o un número limitado de flujos de energía fueron monitoreados y gestionados. Varios proveedores ofrecen sistemas de control de utilidad in-situ.





El ahorro energético específico y los períodos de amortización para la adopción general de un sistema de monitoreo de energía varían mucho de una planta a otra y de una compañía a otra.

Una variedad de sistemas de control de está disponible para prácticamente cualquier proceso industrial. Se puede encontrar cantidad de literatura disponible sobre la aplicación de los sistemas de control en los diversos sectores industriales, entre ellos, la industria de la refinación, petroquímica y productos químicos. En la tabla 4.4 se da una clasificación sencilla de los sistemas de control de procesos.





Tabla 4.4. Clasificación de sistemas de control y mejoras típicas potenciales de eficiencia energética. [24]

Sistema	Características	Ahorros usuales de energía en %
Monitoreo y Orientación	Sistemas diseñados para diferentes industrias.	Ahorros típicos promedio de entre 8 y 17%
Fabricación Integrada por Ordenador (CIM)	Mejora de la economía global del proceso.	Ahorros típicos de 2–18 %
Control de Procesos	Control de humedad, oxígeno, temperatura, flujo de aire, etc.	Ahorros Típicos de 2-18 %

Los sistemas de control modernos están orientados principalmente al mejoramiento de la calidad del producto, productividad y eficiencia de las líneas de producción y hay disponibles algunos desarrollos enfocados sobre la eficiencia energética.

Los sistemas de gestión y control de la energía son la herramienta moderna que permite reducir significativamente paros de planta, gastos de mantenimiento, tiempos de procesamiento y la emisión de contaminantes al medio ambiente, a la vez que aumenta la eficiencia de equipos y procesos.

Las aplicaciones de los sistemas de gestión de la energía aumentan a diario, así como las tecnologías de medición y control exacto y preciso de las variables de proceso. Existen sistemas de gestión y control para prácticamente cualquier proceso industrial.

Los modernos sistemas de captura y procesamiento de información permiten que en las refinerías modernas se lleve un registro minucioso de las variables de





proceso, si es necesario minuto a minuto. Y estos registros a su vez permiten desarrollar exitosos controles de la operación de grandes y complejas instalaciones de refinación, basados en sistemas de cómputo

Constantemente se desarrollan dispositivos de medición y sensores de variables como temperatura, flujo, presión, composición, propiedades físico químicas, etc. así como sistemas de captura de datos en tiempo real. Los desarrollos incluyen la utilización de ultrasonido, medios acústicos, sistemas ópticos, de microondas, que se pueden utilizar en ambientes agresivos como por ejemplo hornos, reactores químicos, etc.

Los sistemas de control de procesos dependen de capturar y procesar gran cantidad de información proveniente de muchas etapas de los procesos con la que es posible construir modernos simuladores de proceso. Los sistemas de control utilizan técnicas avanzadas como por ejemplo redes neuronales, lógica difusa, etc.

Los sistemas de control basados en redes neuronales se han utilizado con éxito en las industrias cementera (hornos), de alimentos (horneado), metales (aluminio, zinc), celulosa y papel, refinerías de petróleo (diversos procesos), fierro y acero (hornos de arco eléctrico, trenes de laminación), entre otros. Los nuevos sistemas de gestión de la energía que utilizan la inteligencia artificial, la lógica difusa (red neuronal) o sistemas basados en heurísticas, “identifican e imitan” las acciones que tomaría el “mejor controlador” con base a la vigilancia de los datos del proceso a la vez que “aprenden” de la experiencia anterior.

Se encuentran disponibles sistemas de control de procesos para prácticamente todos los procesos de las refinerías, así como para la gestión de gas combustible de refinería, hidrógeno y el control total de la instalación. La revista americana *Hydrocarbon Processing* publica anualmente un directorio de proveedores a nivel mundial, así como los avances actualizados en este campo.





Simulación y Optimización de Procesos.

La tendencia internacional en la industria de la refinación es integrar a los sistemas de monitoreo y control, programas de simulación y optimización de procesos para mejorar los rendimientos hacia productos de mayor valor agregado, disminuir los residuos y aprovechar al máximo la energía.

Los sistemas totales de supervisión y gestión de la energía pueden optimizar el intercambio de flujos de energía entre los diferentes procesos de las refinerías.

Varios proveedores como *Valero* y *AspenTech* han desarrollado modelos de optimización de energía de “toda la planta” aprovechando integralmente los flujos de intermedios, hidrógeno, vapor, combustible y electricidad.

El sistema de optimización incluye las unidades de cogeneración, recuperación de electricidad, FCC, y calderas, así como la selección de turbinas de vapor o motores eléctricos para operar compresores. El sistema fue implementado en la refinería de *Valero* en Houston en 2003 y se espera que reduzca entre 2 y 8% el uso de energía con relación a la que consume actualmente. La empresa *Valero* espera ahorrar entre 7 y 27 millones de dólares anuales en 12 refinerías.

Control De Unidades De Destilación. Algunas empresas suministran sistemas y equipos de control de UDA. La tecnología de control de *Aspen* se aplica en más de 70 UDA. El ahorro típico de costos de energía es de entre 0.05 y 0.12 dls/bbl de alimentación, con reembolsos menores a 6 meses.

FCC. Varias compañías ofrecen sistemas de control de FCC, incluyendo *ABB Simcon*, *AspenTech*, *Honeywell*, *Invensys* y *Yokogawa*. El ahorro de costos puede variar entre 0.02 y 0.40 dls/bbl de alimentación con reembolsos de entre 6 y 18 meses.





En la referencia [46] se indican las ventajas de combinar un sistema de optimización en línea con el de control existente para operar una unidad de FCC en la refinería de *CITGO* en *Corpus Christi, Texas*. La unidad de FCC procesa 65 000 barriles diarios. La instalación del optimizador condujo a ahorros en el costo de producción de aproximadamente 0.05 dls/barril de alimentación.

En 2001, la refinería de ENI en *Sanassazzo* (Italia) instaló un optimizador de *Aspen Technology* en la unidad de FCC. Se obtuvieron ahorros de costos de 0.10 dls/bbl con retorno de la inversión de menos de un año.

Hidrotratamiento. Se instaló un sistema de control multi variable predictivo (CPMV) en una refinería *SASOL* en Sudáfrica. El sistema tiene como objetivo mejorar el rendimiento y reducir al mínimo los costos de servicios. Se obtuvieron mejoras en el rendimiento de gasolina y diésel, reducción de 12% en el consumo de hidrógeno y 18% de ahorro en el consumo de combustible. El tiempo de recuperación de la inversión fue de 2 meses.

Alquilación. La refinería del Convento de *Motiva* (*Louisiana*) implementó un sistema de control avanzado para su planta de alquilación de 100,000 bpd. Los objetivos fueron aumentar el rendimiento de alquilados en 1%, reducir el consumo de electricidad en 5%, reducir el uso de vapor de agua en un 3%, reducir el uso del agua de refrigeración en 5%, y reducir el consumo de productos químicos de 5 a 6% (sosa cáustica 5 %, ácido sulfúrico 6.5%).

El paquete de software integra los datos capturados de los análisis químicos del reactor, Análisis Pinch, condiciones de presión, temperatura y flujo de las corrientes de proceso, así como información sobre el consumo de energía y las emisiones hacia el medio ambiente. La prueba se encuentra en proceso y se espera una rápida recuperación de la inversión ya que solamente se instalaron equipos y software.





El software se desarrolló en forma conjunta entre el *Centro de investigación de Substancias Peligrosas Costa del Golfo* y de la *Universidad Estatal de Louisiana*. Otras empresas que ofrecen controles de alquiler son *ABB Simcon*, *AspenTech*, *Emerson*, *Honeywell*, *Invensys* y *Yokogawa*. Los controles suelen dar lugar a un ahorro de costos de 0.10 a 0.20 dls/bbl de alimentación con reembolsos de 6 a 18 meses.





CONCLUSIONES

Las refinerías de petróleo son instalaciones industriales de consumo intensivo de energía, principalmente térmica y eléctrica que contribuyen significativamente a sus costos de producción. Datos de benchmarking competitivo indican que las refinerías de petróleo pueden mejorar su eficiencia energética obteniendo ahorros de entre 10 a 20% en sus costos actuales de energía.

La Política Pública de nuestro país en materia energética y ambiental, y la apertura comercial motivada por la Reforma Energética 2013–2014, más la responsabilidad social de las empresas de refinación del petróleo y del procesamiento del gas natural, son factores que presionarán fuertemente a la industria nacional en el sentido de optimizar sus procesos de producción y reducir su consumo de energía

Debido a su similitud con los sistemas de gestión de la calidad y ambiental, la Norma ISO 50001 tiene el potencial de convertirse en un instrumento robusto de optimización en la administración de los recursos energía y energéticos en las instalaciones industriales de procesamiento de petróleo y gas natural.

La aplicación de la norma ISO 50001 al negocio de la transformación industrial del petróleo y el gas natural, requiere personal experto en los procesos de refinación. Las disciplinas de Ingeniería Química Petrolera, Mecánica, Eléctrica, Electrónica, y Sistemas Informáticos, seguirán siendo de gran relevancia para mantener a este sector industrial actualizado y competitivo.

La experiencia obtenida en las refinerías de todo el mundo, permite obtener una guía de trabajo en el diagnóstico de las oportunidades de ahorro de energía, así como en el establecimiento de sistemas de gestión en cualquier refinería.





El monitoreo y control automático de los procesos es requisito indispensable para la operación eficiente de la refinería. El análisis Pinch y la correspondiente integración de intercambio térmico de las corrientes de proceso es la principal oportunidad de optimización y ahorro de energía. El Resumen de las recomendaciones para optimizar el consumo de energía por proceso de la refinería, se indica a continuación:

Tabla C.1 Resumen de las acciones recomendadas para optimizar el consumo de energía en las unidades y equipos de refinerías

Planta	Áreas de Oportunidad
Desalador	Desaladores multi-etapa combinados AC/DC
Unidad de Destilación	Controladores de proceso a alta temperatura CHP Integración de Proceso (pinch) Control de Horno Precalentamiento de Aire Destilación Progresiva de Crudo Optimización de Destilación
Unidad de Destilación a Vacío	Controles de Proceso Integración de Proceso (pinch) Control de Horno Precalentamiento de Aire Optimización de Destilación
Hidrotratamiento	Controles de Proceso Integración de Proceso (pinch) Optimización de Destilación Nuevos diseños de Hidrotratamiento
Reformadora Catalítica	Integración de Proceso (pinch) Control de Horno Precalentamiento de Aire Optimización de Destilación





Tabla C.1 Resumen de las acciones recomendadas para optimizar el consumo de energía en las unidades y equipos de refinerías (continuación)

FCC	Controles de Proceso Recuperación de Electricidad Integración de Proceso (pinch) Control de Horno Precalentamiento de Aire Optimización de Destilación Cambios al Flujo del Proceso
Hidrocraqueador	Recuperación de Electricidad Integración de Proceso (pinch) Control de Horno Precalentamiento de Aire Optimización de Destilación
Coquización	Integración de Proceso (pinch) Precalentamiento de Aire
Reductora de Viscosidad	Integración de Proceso (pinch) Optimización de Destilación
Alquilación	Controles de Proceso Integración de Proceso (pinch) Optimización de Destilación
Producción de Hidrogeno	Integración de Proceso (pinch) Precalentamiento de Aire Optimización de Destilación Pre-reformado Adiabático
Otros	Optimizar Calentamiento en Tanques de Almacenamiento Optimizar Mecheros y Flamas



El Resumen de las acciones recomendadas para optimizar el consumo de energía en los equipos que integran las unidades de proceso de las refinerías es el siguiente:

Tabla C.2 Resumen de las acciones recomendadas para optimizar el consumo de energía en refinerías y procesadoras de gas natural.

Unidades de Proceso	Equipos
Administración y Control	Monitoreo Energético Sistemas de control de energía del Sitio
Generación Eléctrica	CHP (cogeneración) Turbinas de expansión de gas a alta temperatura CHP Gasificación (Ciclo combinado)
Calderas	Mejora de Control de Procesos Reducir las Cantidades de Gas de Combustión Reducir el Exceso de Aire Mejorar el Aislamiento Recuperación de Calor de Gases de Combustión Recuperar Vapor De Purga Reducir Tiempos Muertos
Hornos y Calderas	Mantenimiento Proyecto de Control Precalentamiento de Aire Control de Ensuciamiento Nuevos Diseños de Quemador
Aire Comprimido	Mantenimiento Monitoreo Reducción de Fugas Reducción de la Temperatura del Aire de Entrada Maximizar el Punto de Rocío mediante control de la Presión de admisión. Controles Reguladores del tamaño adecuado Dimensionamiento Correcto de Tuberías Variadores de velocidad Recuperación de Calor para Precalentamiento de Agua



Tabla C.2 Resumen de las acciones recomendadas para optimizar el consumo de energía en refinerías y procesadoras de gas natural. (continuación)

Motores	Dimensionamiento adecuado de los Motores Motores de Alta Eficiencia Control del Factor de Potencia Desequilibrio de Tensión Variadores de Velocidad Controles de Voltaje Variable Reemplazo de Bandas de Transmisión
Integración de Proceso	Análisis Pinch de todo el sitio Análisis Pinch de Agua
Recuperación de Energía	Recuperación de Gas de Quemador Recuperación de Electricidad Recuperación de Hidrogeno Análisis Pinch de Hidrogeno
Distribución de Vapor	Mejorar el Aislamiento Mantener Aislamiento Mejorar Trampas de Vapor Mantenimiento a Trampas de Vapor Monitorear Trampas de Vapor Automáticamente Reparación de Fugas Recuperación de Vapor Flash Retorno de Condensado
Destilación	Procedimientos de Operación Comprobación de Pureza del Producto Ajustes Temporales de Presión de Trabajo Reducción de Potencia de la Caldera Actualización del Interior de la Columna
Bombas	Operaciones y Mantenimiento Monitoreo Bombas más Eficientes Dimensionamiento Correcto de la Bomba Evasión de Válvulas de Estrangulamiento Dimensionamiento Correcto de Tubería La Contención de Fugas a través de la Reducción de Holguras Sellos Bombas de Vacío en Seco





Tabla C.2 Resumen de las acciones recomendadas para optimizar el consumo de energía en refinerías y procesadoras de gas natural. (continuación)

Ventiladores	Dimensionamiento Adecuado Variadores de velocidad Cinturones de alta eficiencia
Iluminación	Controles de iluminación, Tubos de Halogenuros metálicos, Balastras Electrónicas, Panel LED





BIBLIOGRAFIA

- [1] Norma Mexicana SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA-REQUISITOS CON ORIENTACIÓN PARA SU USO, NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2011
- [2] ISO 50001:2011 Energy management systems – Requirements with guidance for use.
- [3] Secretaria de Economía
<http://economia.gob.mx/administrator/index.pHP?option=com>
(Consultado el 26/marzo/15).
- [4] Ley Federal sobre Metrología y Normalización, [online] consultado el http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/130_140714.pdf
(Consultado el 26/marzo/15).
- [5] Gana el desafío de la Energía con la ISO 50001,
http://www.iso.org/iso/iso_50001_energy-es.pdf.
(Consultado el 26/marzo/15).
- [6] Agencia Chilena de Eficiencia Energética:
<http://www.acee.cl>
(Consultado el 15/03/2015).
- [7] “The green expo”, XX Edición, 25-27 septiembre 2012, WTC Ciudad de México,
<http://www.thegreenexpo.com.mx>.
(Consultado el 5/mayo/15).
- [8] UNE-EN-ISO 9001:2008: Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos.
- [9] Secretaría de Energía, “Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de Energía, Editado por CONUEE/GIZ, México 2014.
- [10] Política de Calidad de Pemex Refinación
<http://www.ref.pemex.com/octanaje/33polit.htm>,
(Consultado el 8/abril/2015).





- [11] Pirámide de Kelsen,
<http://2.bp.blogspot.com/-yk5ugyoAF4U/UEGFMf7njBI/AAAAAAAAAD4/GHm8sPJKs/s1600/cuadro+de+kelsen.JPG>
(Consultado el 5/mayo/15).
- [12] Fuente: Estructura jerárquica de un ordenamiento jurídico
<http://www.slideshare.net/Duranguense1953/estructura-juridica-de-un-orden-normativo?related=1>,
(consultado el 8/abril/2015)
- [13] Marco Normativo de Pemex
http://www.pemex.com/acerca/marco_normativo/Paginas/default.aspx
(Consultado el 20/abril/15).
- [14] Vélez, S.N., Reflexiones Acerca de la Calidad, Instituto Politécnico Nacional, 1ª Edición, México, 2006
- [15] Fuente: Ampliación de la Refinería de Repsol en Cartagena
http://revista.aiim.es/Articulos/21_Articulo_RefineriaRepsolCartagena.aspx
(Consultado el 20/abril/15).
- [16] Fuente: Guía para Refinerías por Energy Star
www.energystar.gov/.../ENERGY_STAR_Guide_Petroleum_Refineries
(Consultado el 20/abril/15).
- [17] Fuente: Informes Pemex
http://www.pemex.com/informes/informe_anual/lineas_negocio/pref.html
(Consultado el 26/abril/15).
- [18] Referencia a programas de ahorro de energía PEMEX
<http://www.iae.org.mx/publica/bolInd98/aplind98.htm>
(Consultado el 5/mayo15).





[19] Fuente: Informe Anual Pemex 2013

http://www.pemex.com/acerca/informes_publicaciones/Documents/informes_art70/2013/Informe_Anual_PEMEX_2013.pdf

(Consultado el 5/mayo/15).

[20] Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, “Informe de Resultados de Ahorro de Energía 2013”,

<http://www.conuee.gob.mx/wb/>.

(Consultado el 20/mayo/2015)

[21] U.S. EPA’s Guidelines for Energy Management at

www.energystar.gov.

(Consultado el 20/mayo/2015)

[22] Secretaría de Energía “Estrategia Nacional de Energía 2013 -2027”, México 2013.

[23] Agencia de Protección del Ambiente de los EUA (US Environmental Protection Agency), <https://www.epa.gov/>

[24] Administración de Información de la Energía (US Energy Information Administration),

<https://www.useia.gov/>

(Consultado el 20/mayo/2015)

[25] Secretaría de Energía de México (SENER),

www.sener.gob.mx/

(Consultado el 20/mayo/2015)





[26] Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía de México (CONUUE),

www.conuue.gob.mx/

(Consultado el 20/mayo/2015)

[27] Petróleos Mexicanos

www.pemex.gob.mx/

(Consultado el 20/mayo/2015)

[28] Ezersky, A., 2002. *Technical Assessment Document: Further Study Measure 8 Flares*. Bay Area Air Quality Management District, San Francisco, CA. (2002).

[29] Fisher, P.W. and D. Brennan. 2002. *Minimize Flaring with Flare Gas Recovery*. Hydrocarbon Processing 6 **81** pp.83-85 (2002).

[30] *Paramount Petroleum: Plant-Wide Energy-Efficiency Assessment Identifies Three Projects*, U.S. DOE-OIT, 2003b, Office of Industrial Technologies, U.S. Department of Energy, Washington, DC.

[31] *Tour Guide Book Houston Refinery Valero, 2003*, Valero Energy Corporation, Distributed at the Texas Technology Showcase 2003, Houston, March 17-19, (2003).

[32] Ganapathy, V. "Understand Steam Generator Performance." *Chemical Engineering Progress* (1994)

[33] *Installation of Reverse Osmosis Unit Reduces Refinery Energy Consumption*, U.S. DOE-OIT, Office of Industrial Technologies, U.S. Department of Energy, Washington, DC. (2001).





- [34] Council of Industrial Boiler Owners (CIBO). 1998. Improving Practices in Industrial Boilers Operation and Control.
- [35] *Steam Challenge*. U.S.DOE-OIT.1998. <http://www.oit.doe.gov/steam/>
- [36] Linnhoff March. 2000. *The Methodology and Benefits of Total Site Pinch Analysis*, Linnhoff March Energy Services.
- [37] Clayton, R.W., 1986. *Cost Reduction on an Oil Refinery Identified by a Process Integration Study at Gulf Oil Refining Ltd.*, Energy technology Support Unit, Harwell, United Kingdom.
- [38] Golden, S.W. and S. Fulton.. *Low-Cost Methods to Improve FCCU Energy* (2000).
- [39] *Hydrocarbon Processing Refining Processes 2000, Hydrocarbon Processing*,11,79, pp.87-142, (2000).
- [40] *Deep Desulfurization of Oil Refinery Streams: A Review. Fuel* 82 pp.607-631.
- [41] Hodgson, J. and T. Walters. 2002. *Optimizing Pumping Systems to Minimize First or Life-Cycle Costs*. Proc. 19th International Pump Users Symposium, Houston, TX, February 25-28, (2002)
- [42] *Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems* |Hydraulic Institute and Europump. (2001).





- [43] *United States Industrial Electric Motor Systems Market Opportunities Assessment*, Xenergy, Inc. U.S. Department of Energy's Office of Industrial Technology and Oak Ridge National Laboratory. (1998)
- [44] Power Recovery Turbine Project NL-1993-530, CADDET project (2003).
- [45] Hovstadius, G. of ITT Fluid Technology Corporation. Personal communication. (2002).
- [46] Taylor, A.J., et. al., *Modern Advanced Control Pays Back Rapidly. Hydrocarbon Processing* 9, **79**, pp.47-50 (2000).

