

# enerLAC

Revista de  
Energía de  
Latinoamérica  
y el Caribe

Biomasa  
residual de  
piñón como  
combustible  
sólido

Aprovechamiento  
GNL en empresas  
mineras en  
Perú

*NAMA &  
Residential  
efficient lighting  
in Grenada*

Refinación  
y eficiencia  
energética

Indicadores  
para medir  
pobreza  
energética

Residuos  
leñosos para  
calefacción

Resultados de  
estudios prospectivos  
internacionales de  
ALC



---

## COMITÉ EDITORIAL

Alfonso Blanco  
SECRETARIO EJECUTIVO DE OLADE

Pablo Garcés  
ASESOR TÉCNICO DE OLADE

Marcelo Vega  
COORDINADOR DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DE LA  
ASOCIACIÓN DE UNIVERSIDADES GRUPO MONTEVIDEO  
(AUGM)

Martha Ligia Vides Lozano  
ESPECIALISTA PRINCIPAL DE HIDROCARBUROS DE OLADE

Blanca Guanocunga  
BIBLIOTECARIA OLADE

---

## COORDINADORES DE LA EDICIÓN

DIRECTOR GENERAL  
Alfonso Blanco

DIRECTORES EJECUTIVOS  
Pablo Garcés  
Marcelo Vega

COORDINADORA DE PRODUCCIÓN  
Martha Ligia Vides Lozano

---

## REVISORES

Cristhian Carrasco Villanueva. *Universidad Mayor de  
San Andrés (UMSA). Bolivia*

Marcelo Castelli Léméz. *MCT ESCO. Uruguay*

Martha Ligia Vides Lozano. *Especialista Principal de  
Hidrocarburos de OLADE*

Mauricio Medinaceli Monrroy. *Consultor Externo. Bolivia*

Byron Chilibingua.  
*Gerente de Proyecto de Cooperación Canadiense*

Jaime Guillén. *Consultor de OLADE*

Alexandra Arias. *Energy Advocacy Officer, Oficina regional  
América Latina HIVOS, Costa Rica*

Carina Guzowski.  
*Universidad Nacional del Sur (UNS). Argentina*

María Rosa Gamarra Céspedes. *Instituto Universitario de  
Ciencia y Tecnología (IUCT). España*

Laura Moyano. *Universidad Nacional de Córdoba. Argentina*

## COLABORADORES

Raquel Atiaja. *Técnica de Área Informática OLADE*  
Ana María Arroyo. *Diseño y diagramación*

---

© Copyright Organización Latinoamericana de Energía  
(OLADE) 2018. Todos los derechos reservados.

2602-8042 (Impresa)  
2631-2522 (Electrónica)

Dirección: Av. Mariscal Antonio José de Sucre N58-63 y  
Fernández Salvador.  
Quito - Ecuador

Página web Revista ENERLAC: <http://enerlac.olade.org>  
Página web OLADE: [www.olade.org](http://www.olade.org)  
Mail ENERLAC: [enerlac@olade.org](mailto:enerlac@olade.org)

Teléfonos: (+593 2) 2598-122 / 2598-280 / 2597-995 /  
2599-489

Fotografía de portada: Central Hidroeléctrica Coca Codo  
Sinclair. Ecuador. Foto cedida por el Ministerio de Energía y  
Recursos Naturales no Renovables del Gobierno del Ecuador.

Esta revista es financiada por la Cooperación Canadiense.



Global Affairs  
Canada

Affaires mondiales  
Canada

## NOTA DE RESPONSABILIDAD DE CONTENIDO

Las ideas expresadas en este documento son responsabilidad  
de los autores y no comprometen a las organizaciones  
mencionadas.



# EFICIENCIA ENERGÉTICA EN REFINERÍAS DE PETRÓLEO

UNA MIRADA A LOS ESFUERZOS Y ACCIONES LLEVADAS A CABO POR  
LA INDUSTRIA DE LA REFINACIÓN A NIVEL INTERNACIONAL Y REGIONAL

Marysol Materán Sánchez<sup>1</sup>

Recibido: 14/05/2018 y Aceptado: 18/09/2018  
ENERLAC. Volumen II. Número 2. Diciembre, 2018 (72-105).



## RESUMEN

Si bien es cierto que cada refinería en el mundo es diferente y tienen sus particularidades: la mezcla de crudos alimentada, su capacidad, la calidad de productos que su mercado requiere, el nivel de complejidad y su ubicación, entre otros factores, la realidad es que también tienen muchos puntos en común. Todas las refinerías deben lidiar con la operación minuciosa y el mantenimiento de plantas y equipos de alta complejidad, con un importante consumo de energía cada día en forma de vapor, combustible y electricidad. Asimismo, para lograr la operación exitosa y segura de estas plantas está involucrado un gran número de personas, calificadas, de distintas ramas: ingenieros químicos, eléctricos, electrónicos e instrumentistas, mecánicos, especialistas en mantenimiento, en control de procesos, calidad y seguridad, operadores, planificadores, entre otros muchos, que cada día trabajan comprometidos para lograr que los productos obtenidos por la refinería satisfagan las especificaciones previstas.

El objetivo principal de este artículo es presentar ejemplos documentados por entes oficiales de oportunidades de eficiencia energética implementadas en diversas refinerías a nivel mundial, con indicadores financieros positivos, que han permitido la ejecución exitosa de las mismas, arrojando no sólo una operación más eficiente y un menor consumo energético, sino que se han traducido en importantes ahorros económicos, con períodos de pago de la inversión relativamente cortos en muchos de los casos. Se presentará un resumen del extenso trabajo de investigación realizado por la Energy Star<sup>1</sup>, en el que se ha recopilado las principales medidas de eficiencia energética recomendadas para la industria de la refinación de los Estados Unidos,



1 Ingeniero Químico de la Universidad Simón Bolívar, Venezuela y Master en Administración de la Energía y Fuentes Renovables (TEC Monterrey, México). Consultora, experta en la cadena de valor de los hidrocarburos, desde la producción de petróleo, su refinación, hasta su valorización económica y comercialización. Auditor interno de Sistemas de Gestión de Energía ISO 50001- Certificado N°19953. [marysolmateran@gmail.com](mailto:marysolmateran@gmail.com)

---

1 Energy Star es un programa respaldado por el gobierno de los Estados Unidos, que ayuda a las empresas a proteger el medioambiente a través de la eficiencia energética y es dirigido por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA), <https://www.energystar.gov/>

con el profundo deseo de que compartir esta información, a través de las siguientes páginas, sea de utilidad para las refinerías de América Latina, pues la mayoría de las oportunidades presentadas bien pueden ser aplicadas por las refinerías de la región, y porque conocer de casos exitosos en otras latitudes siempre representa un incentivo y un motivador muy potente para el establecimiento de nuevas metas y objetivos.

Así mismo y más allá de las propias recomendaciones de eficiencia energética, este artículo pretende estimular a las empresas petroleras de América Latina, a implantar en sus organizaciones un Sistema de Gestión de Energía con la mirada en la certificación ISO 50001, siguiendo ejemplos dados por Chile, México y España, cuyos casos serán estudiados dentro del artículo. Es la intención de la autora contribuir con este artículo a la divulgación de conocimiento de valor en relación a la eficiencia energética, como una política de mejora continua de la industria, sumando esfuerzos hacia una industria petrolera cada vez más sostenible y comprometida con los desafíos mundiales frente al cambio climático.

**Palabras Claves:** Eficiencia Energética, Refinación, Petróleo, Sistemas de Gestión Energética, ISO 50001.

## **ABSTRACT**

*Although it is true that each refinery in the world is different and has its particularities: the mixture of fuels, its capacity, the quality of products that its market requires, the level of complexity and its location, among other factors, the reality is They also have many points in common. All refineries must deal with the meticulous operation and maintenance of highly complex plants and equipment, with significant energy consumption each day in the form of steam, fuel and electricity. Likewise, to achieve the successful and safe operation of*

*these plants, a large number of qualified people are involved: chemical, electrical, electronic and instrumentalist engineers, mechanics, maintenance specialists, process control, quality and safety, operators, planners, among many others, who work every day to ensure that the products obtained by the refinery meet the specifications.*

*The main objective of this article is to present examples documented by official entities of energy efficiency opportunities implemented in several refineries worldwide, with positive financial indicators, which have allowed the successful execution of them, not only yielding a more efficient operation and lower energy consumption, but have resulted in significant economic savings, with relatively short pay periods of investment in many cases. A summary of the extensive research work carried out by the Energy Star will be presented, which has compiled the main energy efficiency measures recommended for the international refining industry, with the confidence that sharing this information in this article will be of great importance. value for Latin American refineries, since most of the opportunities presented may well be applied by refineries in the region.*

*Likewise and beyond the recommendations of energy efficiency, this article aims to encourage oil companies in Latin America to implement an Energy Management System in their organizations with an eye on ISO 50001 certification, following examples given by Chile, Mexico and Spain, whose cases will be studied within the article. It is the author's intention to contribute with this article to the dissemination of knowledge of value in relation to energy efficiency, as a policy of continuous improvement of the industry, adding efforts to an oil industry increasingly sustainable and committed to global challenges in the face of climate change.*

**Keywords:** Energy Efficiency, Refining, Petroleum, Energy Management Systems, ISO 50001.

## REFINACIÓN DE PETRÓLEO- UNA MIRADA AL PROCESO GENERAL

Una refinería es una instalación industrial que permite convertir, usando diferentes procesos de separación y conversión, el petróleo crudo en productos derivados que luego serán comercializados y que cumplen una función importante en el día a día de la sociedad moderna. Algunos de los usos más comunes son: combustibles para la cocción (GLP), para el transporte (gasolina, diésel, GNL), para la calefacción (diésel / *heating oil*), el asfalto para la pavimentación de calles y autopistas, los lubricantes de motores, los combustibles usados para la generación de electricidad en termoeléctricas (gas natural, diésel, fuel oil) y las bases para petroquímica, entre otros. La refinación es una industria que requiere mantener su operación de manera continua, los 365 días del año y las 24 horas del día, para ello es necesario contar con un gran número de empleados, automatización, sistemas de seguridad y almacenamiento.

La refinación transforma el petróleo crudo en varios componentes, que son reconfigurados de manera selectiva en nuevos productos, a través de procesos químicos y físicos, en muchos casos de alta complejidad y costo, siendo tecnologías licenciadas<sup>2</sup> gran parte de los procesos utilizados. De manera general, todas las refinerías cumplen con tres pasos básicos: Separación, Conversión y Tratamiento.

El primer paso en una refinería, después de desalar y deshidratar el crudo, es su separación en numerosas fracciones a través de la destilación, para ello es necesario antes precalentar y vaporizar el crudo en un horno a alta temperatura y posteriormente los líquidos

y vapores resultantes son descargados en la unidad de destilación. Dentro de la unidad de destilación de crudo (CDU) estos vapores y líquidos se separan en varias fracciones, de acuerdo a su peso molecular y punto de ebullición. Las fracciones más livianas, incluyendo el gas licuado del petróleo (LPG) y las naftas ya vaporizadas se dirigen de manera natural a la parte superior de la columna, donde condensan y regresan al estado líquido. Las fracciones medias, incluyen kerosene y destilados, permanecen en la mitad de la torre de destilación y los líquidos más pesados, llamados gas oils, se separan más abajo, mientras que las fracciones más pesadas, residuos, con las más altas temperaturas de ebullición se mantienen al fondo de la torre. Por lo general, las fracciones más pesadas pasan a un paso de separación adicional, llamado destilación al vacío (VDU).

Después de la etapa de separación, las fracciones más pesadas y de menor valor pueden ser procesadas para convertirlas en fracciones más livianas y de mayor valor, a través de procesos de conversión. Entre los métodos de conversión existentes, uno de los más usado es el denominado Craqueo Catalítico (FCC, por sus siglas en inglés) y consiste en usar calor, presión y catalizadores para romper (crack) las moléculas de hidrocarburos pesadas en otras más livianas. Otro método, es el hidrocrqueo, que además de las variables anteriormente mencionadas, incorpora hidrógeno al proceso, para lograr la transformación de los componentes pesados a unos más livianos.

Además del craqueo existen otras formas de conversión en las refinerías, que más que realizar rompimientos, re-arreglan las moléculas de hidrocarburos, para darles más valor. La alquilación, por ejemplo, es un proceso que permite la producción de Alquilato, un excelente componente de la gasolina con un alto valor de octanaje, una especificación clave de este producto. Otro proceso de conversión muy importante en una refinería es el reformador (*reforming*), que usa calor, presión moderada y un

---

<sup>2</sup> Es decir, tecnologías cuyo diseño e invención es propiedad de una compañía en específico y es necesario pagar unas regalías por el aprovechamiento de las mismas. Algunas de las empresas con más trayectoria en el licenciamiento de tecnología de la refinación son: UOP, Axens, Foster Wheeler, Linde, entre otras.

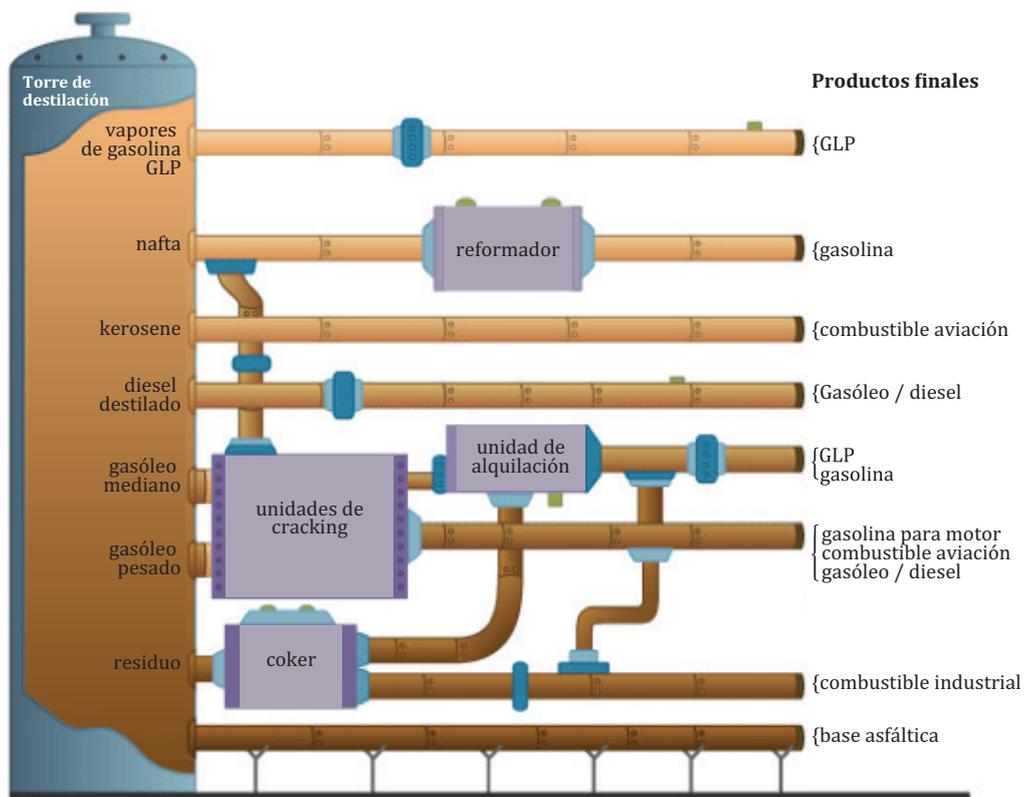
catalizador para convertir la nafta, una fracción ligera de relativo bajo valor, en un componente de alto octano, muy importante en la mezcla de gasolinas, conocido como Reformado.

Con el objeto de obtener el mayor valor de las fracciones pesadas del crudo, existe procesos de alta conversión o conversión profunda que permiten transformar el residuo de la unidad de destilación al vacío en productos más valiosos. Uno de los procesos de conversión profunda más utilizados a nivel internacional es la Unidad Coquificación Retardada (DCU, por sus siglas en inglés), el cual consiste en una unidad de craqueo térmico usada para mejorar y convertir el residuo de petróleo en productos líquidos más livianos y gaseosos, obteniéndose como subproducto un material de carbón concentrado y sólido, denominado coque de petróleo (petroleum coke, petcoke). Otra tecnología de conversión profunda es conocida como H-OIL, un proceso de hidrocrqueo, que usa hidrógeno,

altas temperaturas y presión, permitiendo convertir los residuos de la destilación en productos más livianos.

Seguidamente, los diferentes productos obtenidos en las plantas, deben pasar por procesos de tratamiento que permiten que los mismos cumplan con las especificaciones de calidad (azufre, metales, viscosidad etc.) requeridas a nivel nacional y/o internacional. Algunos de los procesos de tratamiento más usados son: desulfurizadores, hidrotratadores, unidades merox, entre otros. Por último, el proceso de mezclado es una etapa clave para la obtención de los productos finales a comercializar, a partir de la mezcla de componentes obtenidos por las diferentes plantas de la refinería. Un ejemplo lo constituye la gasolina, una mezcla de nafta de alto octano, aquilato reformado, entre otros, en una proporción específica, dependiendo de las especificaciones del mercado (RVP, octano, entre otros).

Figura 1. Principales procesos de la refinación de petróleo



Fuente: EIA (EIA, 2015)

Una herramienta muy ilustrativa para conocer de manera general los procesos de refinación más usados, es un excelente video preparado por la empresa argentina de energía, YPF, (Yacimientos Petrolíferos Fiscales S. A.), al que puedes acceder dando click en [Ver Video](#).

## CONFIGURACIÓN DE LAS REFINERÍAS

Existen diferentes tipos de configuración de una refinería, y su complejidad dependerá del tipo de unidades de conversión que disponga, en general existen cuatro tipos de refinerías y su complejidad aumenta en cada tipo, tal como se muestra a continuación:

**Topping** – se considera de esta manera a las que sólo disponen de capacidad de destilación (CDU y VDU).

**Hydroskimming** – aquellas que además de la unidad de destilación dispone de un Reformador (reformer, en inglés)

**Conversión Simple (Cracking)** – es una refinería que además de las unidades de destilación y el reformador, dispone de una unidad de craqueo, este proceso puede ser catalítico (FCC), como se mencionó anteriormente, orientando a la producción de gasolinas, o de hidro craqueo (*hydrocracking*) orientado a la producción de diésel.

**Conversión Profunda (Coking)** – una refinería con conversión profunda es aquella que además de poseer todas las anteriores unidades, tiene instalada una unidad de coquificación retardada (DCU) o de hidro craqueo de residuo (H-OIL), que le permitirá convertir el combustible pesado residual de la destilación al vacío en hidrocarburos más livianos y de mayor valor económico.

El que una refinería requiera tener una menor o mayor complejidad, depende de varios factores, entre ellos:

- **Alimentación de la refinería**, es decir el tipo de crudo o mezcla de crudos que serán alimentados a la unidad de destilación de la refinería. Un crudo más pesado<sup>3</sup> requerirá de mayores procesos de conversión para poder obtener de él su máximo potencial en productos de mayor valor en el mercado. Por ejemplo, un crudo como el Maya, de México, de 21-22 grados API y 3.4%S (PEMEX, 2014) requerirá mayor procesamiento para poder obtener la mayor cantidad de gasolinas y destilados de él, que un crudo como el South Blend, de Colombia, de 28.6 API y 0.72%S (ECOPETROL, 2014), o el West Texas Intermediate de EEUU, de 40.8 API y 0.34% S (OIL&GAS JOURNAL, 1994). Es decir, la características físico químicas de un crudo y en general su calidad, nos da una indicación del nivel de complejidad en los procesos que requerirá para su transformación en productos livianos y de alto valor en el mercado.

Para conocer las características de un crudo y sus potenciales rendimientos en productos tras la destilación primaria, se realiza una evaluación química de los crudos en laboratorios especializados, como resultado de esta evaluación se obtiene el ensayo o assay del crudo. En el caso del Maya, a partir de su assay es posible identificar que el 36.9 % del crudo es residuo, con un 5.3% de azufre (OIL&GAS JOURNAL, 2000). Esto indica a priori que, por cada 100 barriles de crudo Maya procesado, se obtendrían 36.9 barriles de residuo pesado y será necesario unidades de conversión profunda para poder obtener el máximo valor de este crudo. Por su puesto, para la determinación exacta de que procesos y que capacidad será necesaria para la óptima refinación del crudo, es necesario realizar estudios especializados de optimización

---

<sup>3</sup> En términos generales, cuando hablamos de crudos pesados nos referimos a que su rango de grados API esta entre 10° y 21.9°. Este rango puede cambiar ligeramente de acuerdo a las referencias internas usadas en cada país.

lineal de las diferentes configuraciones posibles de la refinería y la simulación de las diferentes tecnologías de refinación.

- **Rendimientos deseados de la refinería:** al diseñar por primera vez una refinería es importante analizar e identificar el set o conjunto de rendimientos deseados para la refinería, considerando la demanda interna del país, y las proyecciones futuras de las mismas. Si la refinería será diseñada para producir productos para exportación, es importante identificar los productos requeridos por los mercados naturales, por su cercanía u otras razones, estratégicas o económicas. Es decir, es necesario analizar quienes serán los potenciales clientes de la refinería (internos y externos), sus necesidades de abastecimiento y las especificaciones de calidad de sus productos. Esto es parte de la etapa de la visualización del proyecto.

Este mismo proceso es necesario realizarlo cuando se evalué realizar un mejoramiento o repotenciación de instalaciones existentes en una refinería, de manera que las nuevas inversiones estén atadas a una necesidad real del mercado, cumpliendo con sus necesidades volumétricas y de especificación de calidad.

Un problema muy frecuente en América Latina es que existe un desajuste entre la configuración de la refinería y la demanda de productos de su mercado interno, tanto en volumen como en calidad, esto conlleva a que la refinería no pueda operar de manera óptima, es por ello que es altamente recomendable llevar a cabo un proceso periódico de estudio del mercado y de nuevas tecnologías y procesos, alineado con el análisis prospectivo oficial del sector energético de cada país, de manera de que las refinerías sean diseñadas considerando la planificación estratégica de la demanda energética de sus países en los próximos 25-30 años y además permanezcan en un proceso de mejora continua.

- **Presupuesto:** El diseño e instalación de un complejo refinador es una inversión de alto costo, incluso las inversiones de mejoramientos de unidades y remplazo. Para Latinoamérica, en particular, los costos de capital (CAPEX) son muy altos, en general, el diseño de una refinería en Sur América implica un 10 a 20% más en costos que en la costa del golfo de EEUU (USGC) (Arthur D. Little, 2017).

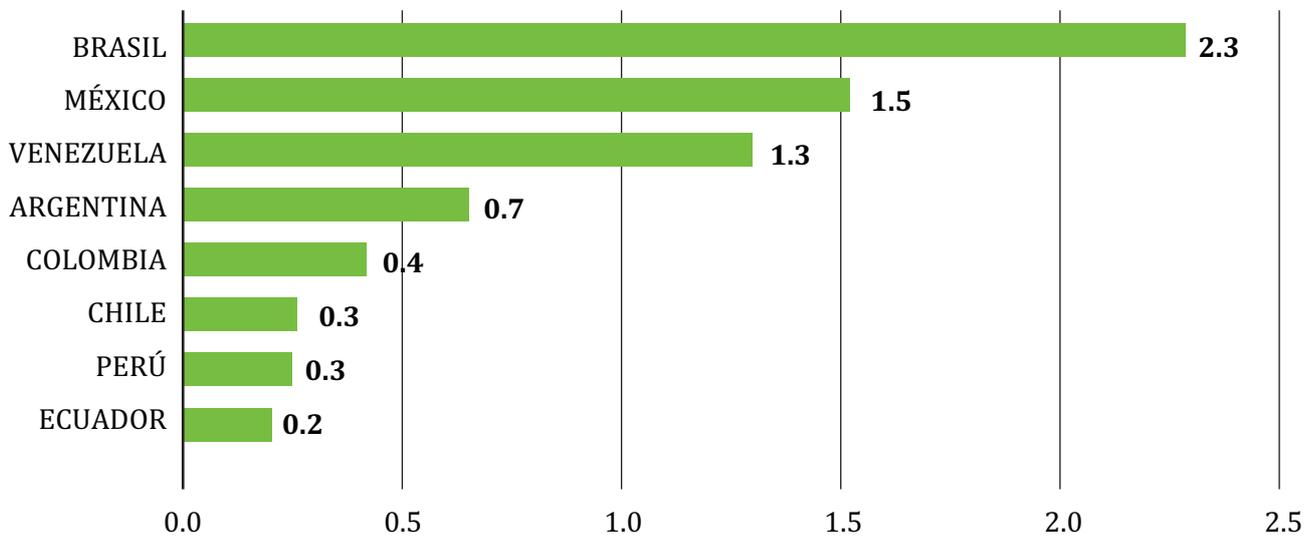
Como ejemplo, en Ecuador, de acuerdo a datos oficiales, el proyecto de la nueva refinería del Pacífico, presupuestaba alrededor de 13.000 millones de dólares (Presidencia de la República de Ecuador, 2016). Como una referencia, las reservas internacionales de Ecuador para diciembre 2017 sumaron 2.450 millones de dólares (Banco Central del Ecuador, 2018), es decir la inversión en esta nueva refinería representaría más de 5 veces las reservas internacionales del Ecuador a esa fecha.

En las últimas dos décadas varios proyectos grandes de refinación han sido anunciados en América Latina, sin embargo, sólo unos pocos se han completado. Los proyectos no sólo compiten con otros, pero también internamente para ganar apoyo político y financiamiento. Obtener financiamiento es un hito clave para estos proyectos, pero muchos no logran obtenerlo. (Arthur D. Little, 2017).

## LA INDUSTRIA DE LA REFINACIÓN EN AMÉRICA LATINA

La capacidad total de refinación en América Latina es de 7,8 millones de barriles diarios (Mbd) (BP, 2017). Los tres países con más capacidad de refinación son: Brasil con una capacidad de procesar aproximadamente 2,3 Mbd, seguido de México con 1,5 Mbd y Venezuela con 1,3 Mbd.

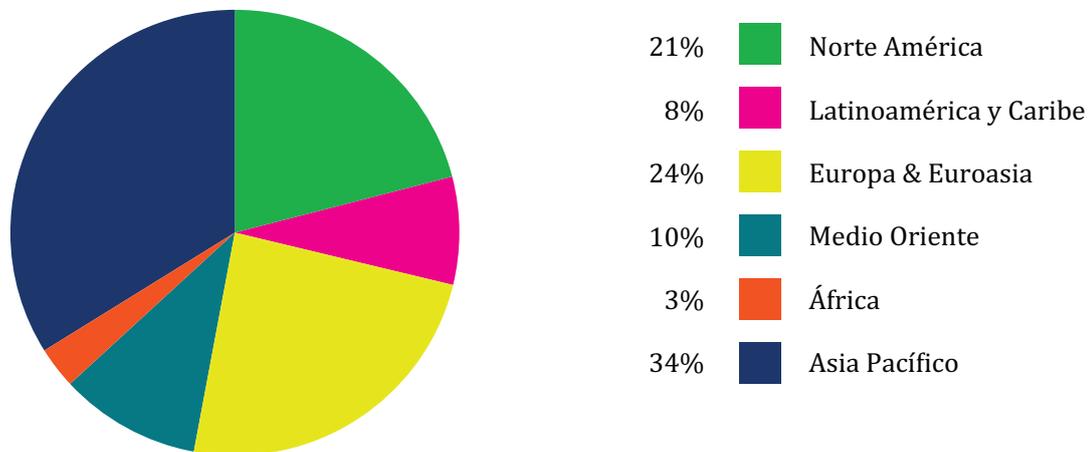
Figura 2. Capacidad de refinación en América Latina (Mbd)



Fuente: Datos (BP, 2017), gráfica elaboración propia

Por su parte, la capacidad de refinación mundial es de 97,4 Mbd, contribuyendo América Latina y el Caribe con 8 % de este total de capacidad de refinación mundial.

Figura 3. Capacidad de refinación mundial



Fuente: Datos (BP, 2017), elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, una de las principales dificultades que afronta la industria de la refinación en la región en la actualidad es que la producción de sus refineras no coincide con la demanda de combustibles, ocasionando déficits de productos en el mercado interno que deben ser suplidos con importación.

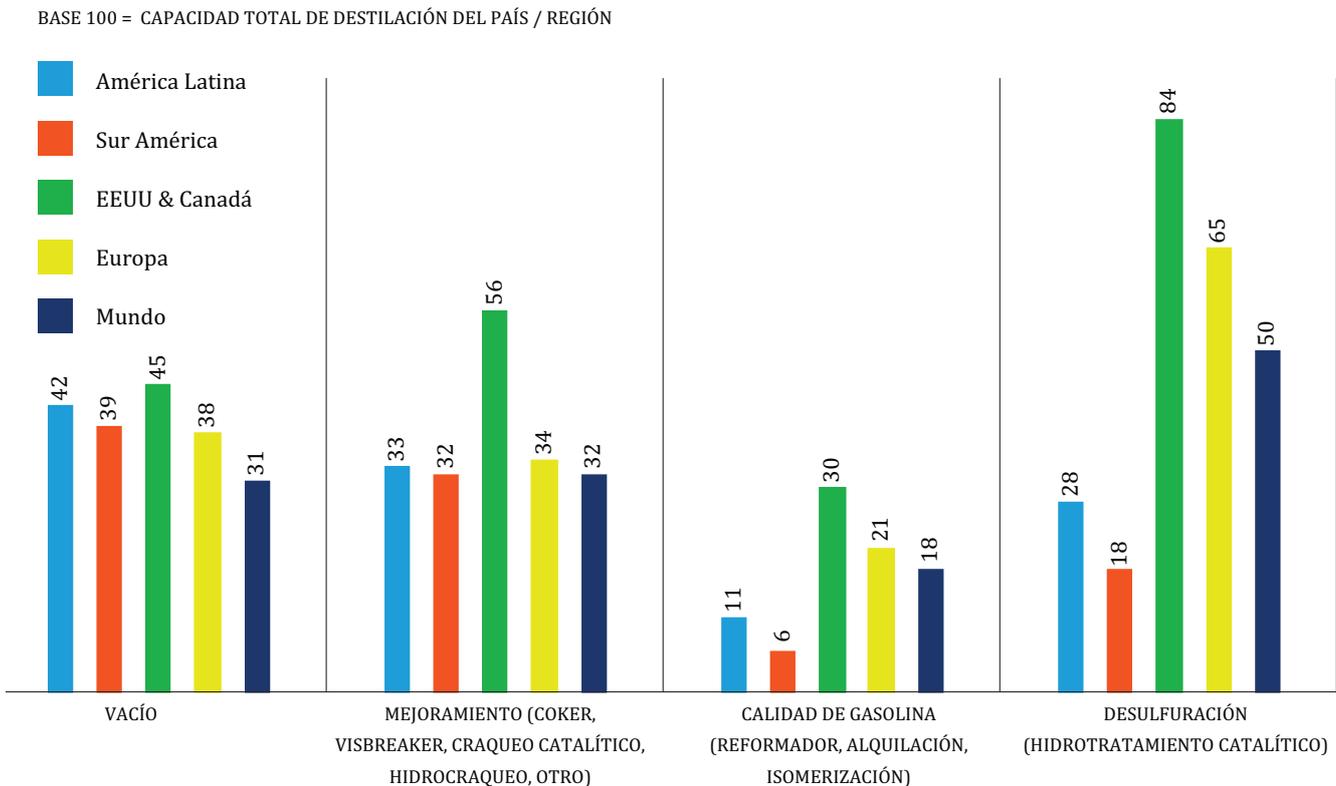
Tal como mencionó la consultora Arthur D. Little en el estudio realizado en el 2017 para la sexta conferencia de Refinadores Latinoamericanos y Líderes Petroquímicos (LARTC), Latinoamérica, en general, experimentará fuertes déficits tanto en diésel como gasolinas para el 2020, se espera una importación neta de 860 kbd y 910 kbd de

diésel y gasolina respectivamente. Los principales déficits en diésel se ubicarán en Brasil, América Central, Chile, mientras en México y América Central serán en gasolina (Arthur D. Little, 2017).

La razón de este déficit es que la configuración de las refinerías de la región no ha evolucionado lo suficiente y no está alineada con la necesidad de productos del mercado interno de sus países, en volumen y en calidad. Más de la mitad de las refinerías de América Latina se clasifican en el tipo de configuración “topping” o “Hydroskimming” y solo cerca del 20% de ellas presentan una configuración de “conversión profunda” (Arthur D. Little, 2017). Las refinerías de América Latina se han quedado atrás al compararse con refinerías en EE. UU. y Canadá en términos de

capacidad de mejoramiento de las fracciones más pesadas del crudo, así como de plantas para producir gasolina de alta calidad y de capacidad de desulfuración de los productos refinados, y esto es un tema clave considerando que la calidad de crudo disponible en América Latina, es en su mayoría pesado y con un alto contenido de azufre. Particularmente en los procesos de mejora, las refinerías de América Latina requieren invertir en una mayor capacidad de conversión profunda (DCU ó H-OIL), hidrocrqueo (HC) y craqueo catalítico (FCC). En la figura 4 se evidencia que, por cada 100 bpd de capacidad de destilación atmosférica, hay en promedio sólo 33 bpd de capacidad de mejora, mientras que el promedio de Estados Unidos y Canadá es 70% más alto (56 bpd).

Figura 4. Comparación de la configuración de las refinerías a nivel internacional



Fuente: (Arthur D. Little, 2017) . Elaboración propia.

A fin de avanzar hacia un manejo más eficiente de la industria de la refinación a nivel regional, es importante realizar las inversiones necesarias para alinear la producción de las refinerías a las necesidades volumétricas y de calidad del mercado interno de cada país y también de los posibles intercambios a nivel regional. Una gestión eficiente energéticamente de la industria petrolera nacional, no solamente involucra, la eficiencia de sus operaciones y la aplicación continua de medidas que conduzcan a ahorros significativos de energía. Sino que debe también involucrar la planificación de las inversiones y operaciones de las mismas, desde un punto de vista global, enfocadas en poder autoabastecer su mercado interno. En la medida que el sistema de refinerías de un país sea autosuficiente para abastecer la demanda interna de combustibles, sin requerir la importación de combustible foráneo, estará contribuyendo, en cierta medida, a la disminución de la demanda mundial de combustibles pesados (menos uso de transporte marítimo, buques), favoreciendo también a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). No en todos los casos, los países pueden pensar en estas inversiones de manera individual, pero allí existe, sin duda, un potencial muy importante para la visión de integración regional, donde, por ejemplo, se pudiesen llegar a acuerdos de inversión subregionales: Caribe, Centroamérica y Suramérica.

## **SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA - ISO 50001**

Antes de presentar las oportunidades específicas de eficiencia energética en la industria de la refinación, es importante resaltar los beneficios que puede brindar que estas sean implementadas no de manera aislada, sino que formen parte de un Sistema de Gestión de Energía (SGEn) de la organización.

El contar con un sistema de gestión energética permitirá a la refinería ir más allá de tener un plan de ahorro de energía, ya que dispondrá de

toda una metodología de trabajo sistemática, que le permitirá garantizar su mejoramiento continuo en el uso eficiente de la energía.

Una de las mejores formas en las que una organización puede implementar de forma coherente, sistemática y homogénea un Sistema Gestión de Energía es hacerlo bajo un estándar de referencia, en este caso, la norma ISO 50001.

En el año 2011, la Organización Internacional para la Estandarización, ISO por sus siglas en inglés, publicó la normativa internacional ISO 50001, que tiene como objetivo establecer una estructura de trabajo que permita a las organizaciones (ISO, 2011):

- Desarrollar una política para un uso más eficiente de la energía.
- Establecer metas y objetivos para cumplir con la política.
- Usar data para entender mejor y tomar decisiones sobre el uso de la energía.
- Medir los resultados.
- Revisar el buen funcionamiento de la política energética
- Mejora continua de la gestión de la energía

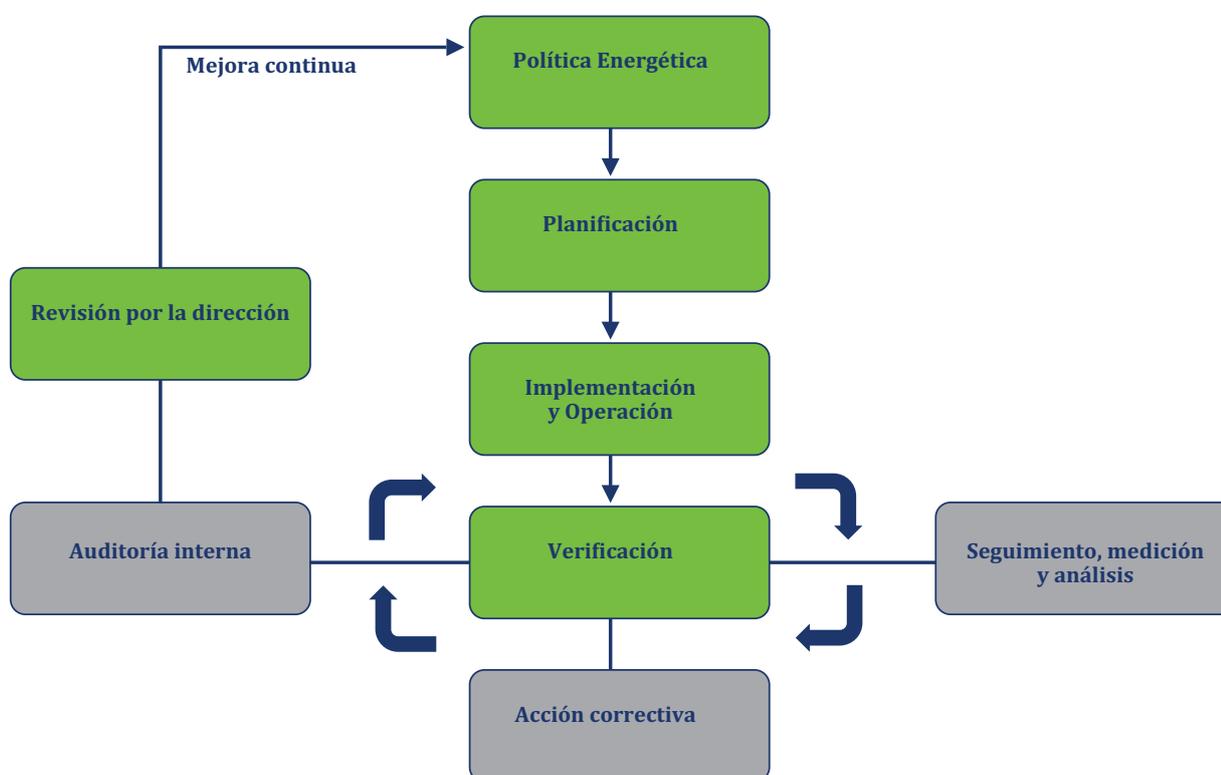
La norma ISO 50001:2011 establece los requisitos que una organización debe cumplir para lograr que su SGEn sea eficaz en el uso eficiente y sostenible de la energía, estos requisitos son pautas que fomentan el establecimiento de objetivos de eficiencia energética coherentes y alcanzables y esta basada en la estrategia de mejora continua, llamada Ciclo de Deming o metodología PVHA, muy usada en otros de sistemas de gestión de calidad (SGC) o sistema de gestión de la seguridad en la información (SGSI).

**Tabla 1. Metodología PHVA ISO 50001**

<b>Planificar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer los objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con la política energética de la organización.</li> <li>• Conocer la legislación energética que aplica y establecer objetivos y metas.</li> </ul>
<b>Hacer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar los procesos y controles desarrollando la correspondiente documentación.</li> <li>• Asignar recursos y responsabilidades, formación de personal, comunicación interna y externa.</li> </ul>
<b>Verificar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar el seguimiento y la medición de los procesos respecto a la política energética, los objetivos, las metas y las obligaciones legales y otros requisitos que la organización subscriba, e informar sobre los resultados.</li> <li>• Identificar las no conformidades del SGE y gestionarlas adecuadamente.</li> <li>• Realizar las auditorías internas del SGE.</li> </ul>
<b>Actuar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar acciones para mejorar continuamente el desempeño del SGE, mediante la revisión del sistema por la dirección, planteamiento de acciones correctoras.</li> </ul>

Fuente: (BUREAU VERITAS, 2017), Elaboración propia.

**Figura 5. Ciclo de mejora continua ISO 50001**



Fuente: (BUREAU VERITAS, 2017) Elaboración propia.

Antes de iniciar la implantación de un SGen es vital contar con el compromiso de la alta dirección de la empresa, ya que esta cumplirá un rol fundamental para que el proceso de implantación pueda llevarse de manera exitosa, no sólo por su responsabilidad en garantizar la disposición de recursos para establecer, implementar, mantener y mejorar el SGen, sino además porque la dirección deberá estar involucrada en la revisión de manera periódica del SGen implantado con el fin de que pueda asegurarse de su conveniencia, adecuación y eficacia continua, tal como lo establece la norma ISO 50001, en uno de sus requisitos.

Una vez que la dirección ha asumido el compromiso y ha decidido implantar un SGen, es importante:

I. *Establecer una política energética apropiada*, que impulse la implementación y mejora del sistema de gestión energética de la organización y refleje el compromiso de la alta dirección con respecto a la gestión de la energía. La política debe ser una declaración oficial del compromiso de toda la organización, por alcanzar los objetivos en términos de energía y reducir las emisiones y otros impactos relacionados con la misma.

II. *Realizar una Planificación Energética*, acorde con la política energética y que promuevan actividades que garanticen la mejora continua del desempeño energético de la organización. Los aspectos más importantes de este proceso de planificación energética son:

- Identificar los *requisitos legales aplicables* de carácter energético que la organización debe cumplir.
- Realizar una *revisión energética*, que consiste en analizar el uso y consumo de energía basándose en mediciones, de manera de identificar los usos significativos de energía en el desarrollo de sus actividades y las oportunidades de mejora, las cuales deben ser priorizadas y registradas.

- Establecer una *línea base energética*, que servirá de referencia para medir los cambios en el desempeño energético, basada en la información proporcionada por la revisión energética. La línea base energética es una “fotografía” de la situación actual del desempeño energético de la empresa, antes de la implantación del SGen.
- Establecer *indicadores de desempeño energético*: para realizar el correcto seguimiento y medición del desempeño energético. Estos deben ser claros, comprensibles y fácilmente medibles.
- Definir objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción para la gestión de la energía, siendo estos específicos y medibles y acordes con la política energética.

### III. *Implementación y Operación del SGen*

Para llevar a cabo la implantación de un SGen, es vital asignar las responsabilidades para todas las áreas de la organización. Es importante tomar en cuenta que el SGen no debe apartarse de la estructura general de la organización, sino que debe integrarse en ella.

Asimismo, se debe asegurar la competencia técnica, formación y toma de conciencia de toda la organización sobre el sistema de gestión de energía que se está implantando. Es importante mantener una continua comunicación interna y externa sobre temas relacionados con la energía y el uso eficiente de la misma, de esta manera se estará fomentando un mayor compromiso de todos los colaboradores de la empresa, dentro y fuera de ella, con los beneficios que brindará un manejo más eficiente y responsable de la energía.

Otro de los requisitos de la ISO 50001 es que exista una cultura eficiente de documentación y control de registros dentro de la organización, pues contar con ella es clave para conseguir el éxito en la implantación y operación del SGen.

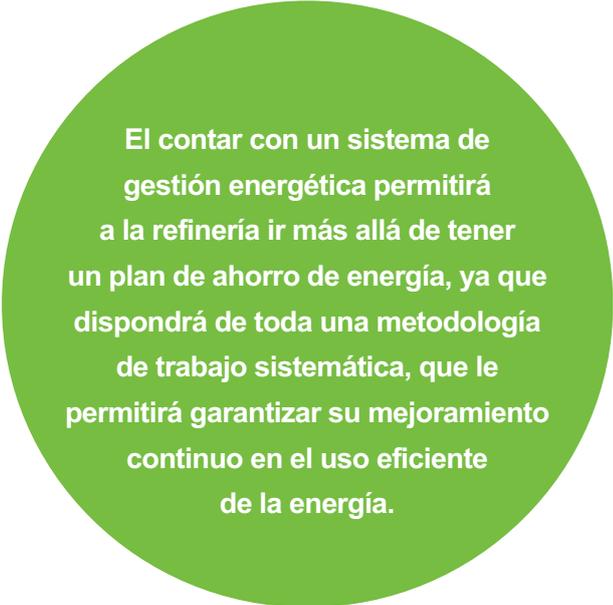
Algunos de los documentos básicos de un SGEN son:

- *Manual del SGEN:* Debe describir la organización y su actividad, alcance del sistema, normas y documentación de referencia, términos y definiciones de interés, política energética y descripción del SGEN.
- *Procedimientos de trabajo:* establecen el objeto y el alcance de un proceso y explican de modo detallado la forma de llevarlo a cabo.
- *Instrucciones en trabajo:* se desarrollan a partir de los procedimientos, para clarificar o detallar en mayor grado la forma de realizar una actividad.
- *Formatos:* son formularios o tablas que se van utilizando con el desarrollo de las actividades, conforme a lo establecido en los procedimientos e instrucciones. Su diseño debe permitir reflejar de manera rápida una serie de datos y resultados.
- *Registros:* son documentos que presentan los resultados obtenidos o proporcionan evidencia de actividades desempeñadas.

En la etapa de operación, es importante que la organización identifique y planifique aquellas operaciones y actividades de mantenimiento que estén asociadas al uso significativo de la energía, luego se debe definir y consensuar con las partes involucradas: modos de trabajo, parámetros o elementos a controlar, valores o criterios de aceptación o rechazo, frecuencia de control y responsabilidades.

Dentro de las actividades de control operacional es muy importante tomar en consideración los siguientes aspectos:

- Establecer planes de operación y mantenimiento para las unidades de proceso, servicios auxiliares, maquinaria, equipos e instalaciones.
- Descripción de los intervalos de servicios de los equipos, incluyendo aquellos que cuentan con servicios de atención postventa.
- Identificación del departamento / personal responsable de la operación y mantenimiento de los equipos.
- Establecer los calendarios para la inspección de los equipos y realizar la descripción de cómo se realiza dicha inspección.
- Es importante que al diseñar cualquier equipo, planta, instalación o edificio nuevo o modificado que tenga un impacto potencial en los aspectos energéticos, se tomen en cuenta alternativas de eficiencia energética, esto incluye el diseño de nuevas líneas de producción, servicios auxiliares, etc.
- En cuanto a las compras y adquisiciones es recomendable contar con una política de compra, que tome en consideración el consumo energético cuando se toman decisiones de equipos, maquinarias, materias primas y servicios, realizando un análisis del costo del ciclo de vida de los equipos.



El contar con un sistema de gestión energética permitirá a la refinería ir más allá de tener un plan de ahorro de energía, ya que dispondrá de toda una metodología de trabajo sistemática, que le permitirá garantizar su mejoramiento continuo en el uso eficiente de la energía.

Estos procedimientos de compras deberían aplicar a todas las partes, en lo posible, incluyendo contratistas, consultores, compañías de servicios.

- Es importante que los procedimientos de trabajo dentro de la organización cuenten con instrucciones que les permitan a los trabajadores identificar fácilmente que acciones pueden realizar en beneficio del ahorro energético en sus actividades diarias.

#### IV. Verificación

La etapa de verificación consta de 3 sub-etapas claves para el logro exitoso de la implantación y operación del SGen:

##### a) Seguimiento, medición y análisis.

El primer paso es decidir cuales operaciones son susceptibles de ser objeto de seguimiento y medición. Una vez identificadas es importante preparar un procedimiento de seguimiento y medición para cada una de estas operaciones.

Estos procedimientos deben contener información sobre:

- Puntos de medición y registro.
- Frecuencia de las medidas.
- Métodos de medición.
- Parámetros a controlar.
- Calibrado y mantenimiento de los equipos de medida.
- Tratamiento de los datos obtenidos.
- Responsables de la ejecución.
- Metodología para el registro de los datos.
- Cálculo del consumo energético.

Generalmente el seguimiento del consumo energético se realiza a través de indicadores de desempeño como: kWh por unidad de producción o kWh por m<sup>2</sup> de superficie. Las principales actividades involucradas en esta etapa son:

- Seguimiento y registro continuo del consumo energético de las operaciones.
- Resumen del consumo energético significativo en forma de cifras claves.
- Comparación entre consumo energético real y esperado.
- Registro de las desviaciones del consumo energético esperado, sus causas y posibles soluciones.
- Calibración de equipos y elementos de medida.
- Elaboración de planes de calibración y mantenimiento de los equipos de control.
- Registro de la ejecución de calibración y mantenimiento de equipos.

##### b) Definición de las medidas correctivas y preventivas.

La ISO 50001 establece que cuando el desempeño energético que presenta la organización se aparta del que estaba planificado por ella, se ha producido una **no conformidad**. Es importante que la organización sepa identificar, investigar y solucionar estas no conformidades, llevando a cabo acciones encaminadas a la prevención (acciones preventivas) y corrección (acciones correctivas) de las mismas.

De la misma manera, cualquier desviación de los procedimientos y directrices establecidas en el SGen de la organización debe considerarse igualmente una **no conformidad**. Algunos ejemplos podrían ser: incumplimiento del establecimiento de objetivos y metas energéticos, incumplimiento de la asignación de responsabilidades en el SGen.

Detectar y solucionar oportunamente las no conformidades tanto en el desempeño energético como en la implantación del Sistema de Gestión de Energía, permitirá la mejora continua de su gestión energética y finalmente poder certificar internacionalmente su SGen.

#### c) Auditoría interna.

Las auditorías internas al SGen de las organizaciones, es un requisito establecido por la norma ISO 50001 para que las empresas puedan evaluar por sí mismas el grado de cumplimiento de su sistema y establecer medidas correctivas, antes de someterse a una auditoría externa. Sus objetivos fundamentales son: comprobar que el SGen cumple con la política, objetivos y metas energéticas, así como con el programa de gestión energética, comprobar que el sistema auditado se ha implantado y mantenido correctamente y comprobar que el SGen cumple con las obligaciones legales pertinentes.

A través de las auditorías internas, la organización detecta **no conformidades**, identifica oportunidades de mejora, proporciona la sensibilización del personal sobre la importancia del ahorro energético y de su papel en el compromiso asumido por la organización en relación al desempeño energético.

Es importante que la organización establezca un plan para realizar auditorías internas a su SGen de manera periódica, no es necesario que cada auditoría cubra el sistema completo, siempre y cuando el programa garantice que el conjunto de auditorías planificadas cubra todo el alcance del sistema. El SGen debe ser revisado y auditado mínimo anualmente y sus resultados deben documentarse y comunicarse a la más alta dirección.

Las auditorías internas pueden ser realizada por personal interno de la organización, que tenga las competencias para actuar como auditor interno de SGen, o por personal especializado ajeno a la organización, que sea contratado para tal fin.

#### d) Revisión de la Dirección.

Uno de los requisitos de la ISO 50001, es que la alta dirección de la organización realice periódicamente una revisión del SGen implantado, como una estrategia que conducirá al aseguramiento de la eficacia continua del mismo.

Uno de los insumos fundamentales para directivos de la empresa serán los resultados de las auditorías internas realizada al SGen. Adicionalmente la alta dirección debe revisar regularmente la política energética de la organización, el desempeño energético de la misma y debe realizar una evaluación del grado de cumplimiento de los objetivos y metas energéticas preestablecidos y del estado de las acciones correctivas y preventivas solicitadas al SGen luego de las auditorías. De esta manera, el más alto nivel de autoridad de la empresa contará con toda la información necesaria para emitir recomendaciones y avalar los objetivos de desempeño energético para el siguiente período.

Es importante que se documente y registre la información generada por la revisión de la dirección en: actas de reunión, listas de asistencia, documentación entregada e informes de resultados y decisiones tomadas. Todo esto es información que deberá ser presentada por la organización en el momento de querer lograr la acreditación ISO 50001 de su SGen, a través de una auditoría externa.

#### **Experiencia regional en Sistemas de Gestión de Energía - ISO 50001 (Electricidad, Revista Energética de Chile, 2018)**

Chile y México son importantes referentes en América Latina en la implementación de Sistemas de Gestión de Energía en sus empresas petroleras.

En febrero de 2018, la empresa pública petrolera de Chile **ENAP** certificó a sus cinco divisiones de negocios en Chile, bajo la Norma ISO 50001. En sólo dos años logro registrar ahorros por US\$15 millones anuales en mejoras operacionales gracias

al sistema de gestión energética. La compañía se puso como tarea estar a la vanguardia en eficiencia energética y acaba de certificar en la norma internacional, Sistema de Gestión de Energía ISO 50001 a: ENAP Refinería Aconcagua, Dirección de Almacenamiento y Oleoductos (DAO), ENAP Refinería Bío Bío, ENAP Magallanes E&P y ENAP Magallanes R&C. (Minería Chilena, 2018)

Es importante destacar que la estrategia de la compañía en este ámbito partió con un convenio firmado en 2014 con el Ministerio de Energía, que dio pie a la creación de una gerencia especializada en gestión energética dentro de la compañía, lo que le abrió la oportunidad de obtener fondos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y de CAF-Banco de Desarrollo de América Latina, apoyo fundamental para poder suplir los recursos financieros requeridos por el proyecto.

Uno de los aspectos más interesantes que ha sido resaltado por el Gerente de Gestión Energética de ENAP, es que el trabajo implicó un cambio cultural, lo que constituyó todo un desafío para una empresa de 11.500 trabajadores: “Ha sido un proceso donde la clave ha estado en sensibilizar y capacitar a toda la organización, y contar con todo el respaldo de la alta gerencia corporativa y de los gerentes de las Unidades de Negocio, para dar a entender los beneficios que se obtienen por operar un sistema de gestión de energía bajo la Norma ISO 50001” (Minería Chilena, 2018).

Entre las medidas implementadas por la estatal que apoyaron la acreditación internacional de su SGen están: la instalación de economizadores en las calderas de la planta de suministros de ENAP Refinería Bío Bío, que han permitido reducir el consumo de combustible y las emisiones atmosféricas de forma importante. Mientras que en la Refinería Aconcagua se realizó un proyecto de limpieza robótica en algunos de sus hornos con un ahorro estimado cercanos a US\$1,3 millones al año. A ello se suma el proyecto “Recuperación de vapor en Alquilación”, que implicó una serie de ajustes en el compresor de una de sus unidades, para lograr su punto de mayor eficiencia, bajando

el consumo de vapor en la turbina. Una vez implementada la modificación, se verificó una reducción promedio de 138 toneladas diarias en el consumo de vapor, equivalente a un ahorro de US\$1,5 millones al año. (Electricidad, Revista Energética de Chile, 2018)

Por su parte, la empresa petrolera estatal Mexicana, **PEMEX**, el 2017, publicó un resumen de las directrices en la implementación de su Sistema de Gestión de Energía con miras a la certificación ISO 50001, enfocándose como objetivo estratégico en la mejora del desempeño energético de las Refinerías del Sistema Nacional de Refinación dado que son las instalaciones que presentan los principales consumos energéticos dentro de Pemex con un consumo aproximado de 36 millones de barriles equivalentes de petróleo anuales. (PEMEX, 2017).

De acuerdo a la información publicada por PEMEX, en el mes de mayo 2017 se realizó una auditoria externa al SGen por parte de la CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía de México) y se concluyó que el proceso de implantación del SGen está en un 97%.

Uno de los aportes más significativos de ésta publicación realizada por PEMEX, es lo que han llamado experiencias y las lecciones aprendidas por la organización gracias al proceso de implantación del SGen, entre las cuales mencionan:

- La utilización de la herramienta de ventanas operativas ha favorecido el seguimiento y control de los equipos significativos en el consumo de energía.
- Se identificó la importancia de contar con la confiabilidad en las mediciones de las variables críticas.
- Se incrementó el grado de conciencia y compromiso de los operadores de la planta en el uso eficiente de la energía.

- Es importante que el personal que realizará las actividades en la primera línea de acción esté convencido de que las iniciativas de eficiencia energética representan una gran oportunidad para disminuir los gases de efecto invernadero y las pérdidas de dinero de la empresa.
- Una vez iniciada la implementación del sistema debe hacerse sistemático para lo cual se requiere mantener el trabajo en equipo y trabajar por objetivos específicos.
- Se requiere mayor difusión e involucramiento del personal técnico y manual en toda la metodología aplicada para determinar la línea base y la terminología basado en la normatividad energética.
- Se requiere llevar estricto seguimiento a los indicadores de desempeño energético en tiempo real.
- Establecer una apropiada capacitación al personal para el manejo de conceptos de energía, asegurar su entendimiento y la relación directa de sus actividades en el reflejo del desempeño energético.
- Se requiere implementar indicadores de desempeño del mantenimiento dado que no se demostró la atención de desviaciones que impiden avanzar en las iniciativas.

### **Experiencia internacional en Sistemas de Gestión de Energía**

A nivel internacional, existen también ejemplos exitosos de instalación y certificación de sistemas de gestión de energía ISO 50001 en empresas petroleras y específicamente en refinerías, entre los cuales se pueden mencionar:

**Repsol**, en el año 2011 logró certificar el sistema de gestión energética de su Refinería A

Coruña, España, convirtiéndose en la primera del mundo en obtener la certificación ISO 50001, contando con un sistema de gestión energética que mejora el control de consumos y costes energéticos, y facilita una implementación ágil de oportunidades de ahorro, contribuyendo por tanto a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> (REPSOL, 2011). Posteriormente en el año 2012, la refinería Puertollano obtuvo igualmente la certificación ISO 50001, permitiendo sistematizar y optimizar el SGen de la refinería y ha implicado la participación de todas las áreas del complejo, mejorando además su posición competitiva. (REPSOL, 2012). Por último, en el 2014 la refinería de Repsol en Cartagena, España, recibió la certificación internacional ISO 50001 de gestión energética, cerrando un proceso de más de un año en la que toda la organización trabajó para adecuarse a los requisitos de la norma, que centra su atención en el control exhaustivo y sistemático del consumo energético de las instalaciones. Además de la labor de adecuación técnica, la refinería de Repsol en Cartagena desarrolló un gran esfuerzo en formación y concientización de toda la plantilla, llegando a impartirse más de 1.300 horas de formación en la norma ISO 50001 de sistemas de gestión energética a lo largo del pasado año. (Lloyd's Register, 2014)

En el caso específico de la refinería de Repsol de Cartagena, uno de los objetivos de la compañía era disminuir sus emisiones de CO<sub>2</sub> y hasta 2013, gracias a las inversiones y a cambios en las operaciones de las plantas, el complejo industrial había conseguido ahorrar 214.000 toneladas de CO<sub>2</sub>/año (REPSOL, 2012).

**CEPSA**, por su parte, en el año 2014 logró certificar ISO 50001 el sistema de gestión de energía de todas sus refinerías en España, el organismo certificador: la Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR, avaló la correcta implantación del nuevo sistema de gestión de recursos energéticos de sus refinerías de Palos de la Frontera, San Roque, Palos y Tenerife. (IPE, 2014)



## **OPORTUNIDADES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA DE LA REFINACIÓN DE PETRÓLEO**

La refinación es una industria con un consumo intensivo de energía, muchos de sus procesos requieren de muy altas temperaturas y alta presión. En general, el consumo de energía de las refinerías viene dado en forma de: combustible, vapor y electricidad y varía de refinería en refinería dependiendo de muchos factores, entre ellos:

- Dieta de la refinería: tipo(s) de crudo (s) que son alimentados a la refinería.
- Los rendimientos de la refinería: volumen de productos que son generados.
- Capacidad volumétrica de la refinería.
- Nivel de complejidad de la refinería y tecnologías usadas.
- Prácticas generales de operación.
- Antigüedad de la refinería.

En febrero de 2015, ENERGY STAR, un programa respaldado por el gobierno de los Estados Unidos, que ayuda a las empresas a proteger el medioambiente a través de la eficiencia energética y dirigido por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA), publicó los resultados de una investigación realizada sobre las oportunidades de eficiencia energética disponibles para las refinerías de petróleo, con el “objetivo de ayudar a la industria a mejorar su competitividad a través de una mayor eficiencia energética y un menor impacto ambiental”. (Energy Star, 2015). La guía de 165 páginas, recoge experiencias de medidas de eficiencia energética costo efectivas implementadas en refinerías en Estados Unidos y Europa, demostrando que existen oportunidades, técnica y económicamente factibles, para reducir el consumo de energía de las refinerías de petróleo, sin comprometer de ningún modo, la calidad de los productos generados.

En esta sección del artículo se presentan las principales oportunidades de eficiencia energética encontradas por la ENERGY STAR, y han sido complementadas con información adicional encontrada en publicaciones especializadas sobre este tema, esperando que pueda servir de

guía para los especialistas de gestión energética de la industria de la refinación en América Latina.

## RECUPERACIÓN DE LA ENERGÍA

### Recuperación del venteo y quema de gas

La quema de gas (*flaring*) es una medida de seguridad que evita sobrepresiones en las instalaciones petroleras y con ellos accidentes que puedan poner en riesgo la vida de las personas, así como la integridad de facilidades y equipos. Sin embargo, en ocasiones y debido a limitaciones técnicas, económicas o regulatorias, en instalaciones de producción petrolera y en refinerías, parte de la producción de gas es quemado, estas últimas son denominadas “quemadas rutinarias” (*routine flaring*), contribuyendo de manera importante a las emisiones de CO<sub>2</sub> y a su vez, conlleva al desperdicio económico de un combustible, que pudiese ser aprovechado.

En la actualidad se ha demostrado que existen muchas alternativas factibles, desde el punto de vista técnico y económico, para alcanzar la minimización de la quema de gas en refinerías, pero para determinar estas vías es necesario realizar una evaluación exhaustiva de las plantas, especialmente aquellas que producen flare gas o gas de quema, y realizar un minucioso monitoreo del flujo y composición de los gases, así como una investigación de las posibilidades de reusar estos gases dentro de la mismas instalaciones.

Un gran número de plantas dentro de la refinería pueden verse beneficiadas con la implementación de un sistema de recuperación de quema y venteo de gas, entre ellas: la unidad de destilación de crudo atmosférica (CDU), el reformador catalítico, la unidad de craqueo catalítico fluidizado (FCC), la unidad de Hidrocraqueo (HC), la unidad de coquificación retardada (DCU), el Visbreaker y las unidades de servicios.

Algunos ejemplos de refinerías que han aplicado alternativas exitosas de recuperación de gas de quema y venteo son:

- En Tabriz Petroleum Refinery en Irán, 630 Kg/h de flare gas, es comprimido y retornado al cabezal de gas de combustión, con una inversión de capital de \$0.7 millones y un periodo de retorno de capital (payback) de 20 meses aproximadamente, y con un 85% de reducción de sus emisiones. (Zadakbar, Vatani, & Karimpour, 2008)

- En Valero Houston Refinery, Estados Unidos, una evaluación reveló que la instalación de un compresor y equipo asociado para recuperar flare gas de 3 sistemas de quema de gas existentes, ahorraría 130.000 MMBtu/año. Se espera que la recuperación de gas de quema en esta refinería resulte en un ahorro de \$420.000 con un periodo de retorno de la inversión de 2.4 años. (Energy Star, 2015)

- La instalación en 2001 de dos sistemas de recuperación de gas en Lion Oil Refinery en el Dorado, Arkansas, Estados Unidos, ha reducido los niveles de quema de gas prácticamente a cero. La refinería sólo emplea quema de gas en emergencias, cuando la cantidad total de gas puede exceder la capacidad de la unidad de recuperación. El gas recuperado es comprimido y usado en el sistema de gas combustible de la refinería. No fueron suministrados datos de payback o ahorros en este caso. (Energy Star, 2015)

Como dato adicional, John Zink Hamworthy Combustion, una de las compañías más importantes que genera tecnologías limpias de combustión en los Estados Unidos, ha señalado en un artículo presentado en la Conferencia Nacional de la Asociación de Refinadores de Petróleo de Estados Unidos (NPRA), que en la mayoría de los proyectos de recuperación de gas de quema y venteo, el payback o tiempo de retorno de las inversiones, es menor a dos años. (Blanton, 2010)

En la actualidad, iniciativas como la del Banco Mundial, “Zero Routine Flaring by 2030” (Cero Quema Rutinaria para el 2030), que congrega a gobiernos, compañías petroleras e instituciones de desarrollo, que han acordado cooperar para

eliminar la quema rutinaria en instalaciones petroleras antes del 2030, brindan una gran oportunidad para incentivar proyectos que busquen la disminución de gas de quema en la industria, abriendo puertas a financiamiento a proyectos que apalanquen esta iniciativa.

De manera particular, en América Latina, la Organización Latinoamericana de la energía, OLADE, ha expresado su apoyo a esta iniciativa del Banco Mundial, uniendo esfuerzos para eliminar la quema y venteo de gas, concientizando y brindando asistencia técnica a los países miembros que así lo requieran y animándolos a unirse a la iniciativa.

Existen numerosas ventajas y beneficios que se pueden obtener de los proyectos de recuperación de gas de quema y venteo. En muchas ocasiones este gas puede ser usado como insumo en plantas y procesos, o como combustible en motores a gas o en turbinas para generación eléctrica. También es importante mencionar que, desde un punto de vista social, puede ayudar a mejorar las relaciones con las comunidades aledañas, que se pueden sentir afectadas por la cantidad de gas que ven quemar de manera constante en las instalaciones.

### **Recuperación de potencia**

Muchos de los procesos en una refinería operan a altas presiones, brindando una oportunidad para recuperación de energía a partir de la presión en el Flue Gas (gas de chimenea) que proviene generalmente de cámaras de combustión, hornos, calderas o generadores de vapor y que sale a la atmósfera a través de un ducto o una tubería (flue, en inglés).

De acuerdo a la investigación realizada por el programa Energy Star (Energy Star, 2015) la principal aplicación de recuperación de potencia en una refinería de petróleo se encuentra en la unidad de craqueo catalítico fluidizado (FCC). Sin embargo, la recuperación de energía también puede ser aplicada a la unidad de hidrocrqueo u otros equipos trabajando a presiones elevadas.

Los FCC modernos usan una turbina de recuperación o turbo expander para recuperar energía a través de la presión, y la energía recuperada puede ser usada para impulsar el compresor del FCC o para generar electricidad. Hay mucha experiencia con aplicaciones de turbinas para recuperación de energía en FCC. En el mercado se pueden encontrar varios diseños, y los nuevos diseños tienden a hacer más eficientes en recuperación de energía. Las turbinas de recuperación son suministradas por un pequeño número de empresas a nivel mundial, incluyendo GE Power Systems.

Son muchos los ejemplos de refinerías en Estados Unidos y alrededor del mundo que han instalado turbinas de recuperación en sus FCC. Valero Energy Group, la empresa de refinación más grande de Estados Unidos (2.180.300 MBD) (EIA, 2017) ha mejorado los turbos expansores en 3 de sus refinerías más importantes. Por su parte, en 1998 PetroCanadá reemplazó su viejo turbo expansor con uno más eficiente, ahorrando alrededor de 18 TBtu anualmente. (Energy Star, 2015)

Las turbinas de recuperación de energía también pueden ser aplicadas en Hidrocraqueadores. La potencia puede ser recuperada de la diferencia de presión entre los reactores y las diferentes etapas de fraccionamiento del proceso. En 1993, la refinería de TOTAL en Vlissingen, en Holanda instaló una turbina de recuperación de potencia de 910 kW en su unidad Hidrocraqueo (45.653 bpd). La turbina de recuperación de energía produce cerca de 7.3 millones de kWh/año. La inversión fue igual a \$1.2 millones de dólares (\$1993), lo que resultó en un periodo de recuperación (payback) de 2.5 años. (Energy Star, 2015)

### **Generación y Distribución de Vapor**

El vapor comprende aproximadamente el 30% de todo el uso de energía en las refinerías de los Estados Unidos (Energy Star, 2015), y en general, en todas las refinerías a nivel mundial, el vapor es una de las fuentes de energía más importantes.

El vapor puede ser generado a través de la recuperación del calor residual de los procesos, cogeneración y calderas. La industria de la refinación requiere de vapor para calentamiento (*heating*), secado (*drying*), craqueo por vapor (*steam craking*) y destilación. Cualquiera sea el uso o la fuente del vapor, es posible realizar mejoras en eficiencia energética en el sistema de generación, distribución y uso final. Un estudio preliminar del Departamento de Energía de Estados Unidos estimó que el potencial general de ahorro de energía en refinerías de petróleo es 12% y que las oportunidades más costo-efectivas de eficiencia energéticas

estaban en sistema de distribución y cogeneración de vapor. (Energy Star, 2015)

### Calderas (*boilers*)

Las calderas son equipos diseñados para generar vapor. Algunas de las medidas recomendadas por la Energy Star para lograr una mayor eficiencia energética en las calderas, junto con la correspondiente estimación del ahorro de com-bustible que puede ser alcanzado y el período de retorno de la inversión, se presentan a continuación:

**Tabla 2. Medidas de eficiencia energética en Calderas.**

Medida	Ahorro de Combustible	Período de retorno	Otros beneficios
Mejorar el control del proceso	3%	0.6	Reducir emisiones
Reducir la cantidad de Gas de Salida (flue gas)	2-5%	-	Controles de emisión más baratos.
Reducción en el exceso de aire <sup>4</sup>	1% de mejora por cada 15% de menos exceso de aire.	-	
Mejorar el aislamiento	6-26%	-	Calentamiento más rápido.
Mantenimiento de la caldera	10%	0	
Recuperación del calor del Flue gas (gas de salida)	1%	2	
Recuperación del calor de gas de purga	1.3%	2.5	Se reducen daños a las estructuras (un aire menos húmedo es menos corrosivo)

Fuente: (Energy Star, 2015). Elaboración propia.

<sup>4</sup> Incrementar el contenido de aire ligeramente sobre la razón estequiométrica combustible-aire es requerido por seguridad y reducir emisiones de Nox. Pero aproximadamente un 10-15% de aire de exceso es suficiente. (Worrel, Corsten, & Galitsky, 2015)

### Sistema de distribución de vapor

Cuando se diseña un nuevo sistema de distribución de vapor es muy importante que se tome en cuenta criterios de velocidad óptima del flujo de vapor, así como de caída de presión en las tuberías, esto reduce el riesgo de errores en el dimensionamiento de la red de tuberías que distribuirán el vapor alrededor de la refinería. Una tubería subdimensionada, trae consigo pérdidas

innecesarias de energía, por caída de presión, además de daños físicos a la tubería por erosión.

Además de las consideraciones durante la etapa de diseño, es importante realizar un adecuado mantenimiento a la red de distribución de vapor para garantizar un funcionamiento óptimo de la misma. A continuación, se citan las principales recomendaciones que, en este sentido, arrojó la investigación del Energy Star:

**Tabla 3. Medidas de eficiencia energética en la red de distribución de vapor.**

Medida	Ahorro de Combustible	Período de retorno	Otros beneficios
Mejorar aislamiento	3-13%	1	
Mejorar trampas de vapor	Desconocido	Desconocido	Mayor confiabilidad
Mantenimiento de las trampas de vapor	10-15%	0.1	
Monitoreo automático de trampas	5%	1	
Reparación de fugas	3-5%	0.2	Reducir requerimientos por reparaciones principales.
Recuperación del vapor flash y retorno del condensado	83%	0.2	Reducir costos de tratamiento de agua
Retorno de condensado (solamente)	10%	0.7	Reducir costos de tratamiento de agua

Fuente: (Energy Star, 2015). Elaboración propia.

### Intercambiadores de calor e integración de procesos

La optimización del diseño y uso de los intercambiadores de calor es un área clave de mejora en eficiencia energética de las refinерías.

Uno de los principales problemas que suelen aparecer en la operación de estos equipos es el *fouling*, que se caracteriza por una acumulación de depósitos en los equipos y tuberías, que impide la transferencia de calor, requiriendo

más uso de combustible. Hay muchas razones que pueden afectar la formación de depósitos o incrustaciones en los intercambiadores de calor, algunas de ellas ligadas a las características de los fluidos, tales como su viscosidad y densidad, aumentando la posibilidad de aparición de este tipo de problemas cuando la refinería procesa crudos pesados.

Algunos aspectos claves para lograr reducir la aparición de *fouling* en los intercambiadores de calor son: mantener un óptimo control del

proceso, realizar control de la temperatura y realizar un mantenimiento y limpieza de forma regular de los equipos y tuberías (bien sea mecánicamente o a través del uso de químicos).

Las incrustaciones son un importante factor de pérdida de eficiencia en la unidad de destilación atmosférica de las refinerías (CDU), especialmente en la etapa de precalentamiento del crudo. Un estudio de refinerías europeas identificó un ahorro general de energía de 0.7% limpiando los tubos de los intercambiadores de calor y otros hornos, teniendo un estimado de tasa de retorno de 0.7 años. (Energy Star, 2015).

Otro aspecto importante relacionado con las oportunidades de eficiencia energética en los sistemas de intercambio de calor es la integración de los procesos (tecnología pinch), que se refiere al aprovechamiento de las potenciales sinergias que son inherentes en cualquier sistema que consiste en múltiples componentes o corrientes trabajando juntas. En plantas que tienen múltiples demandas de calor y enfriamiento, el uso de técnicas de integración de procesos puede mejorar las eficiencias de manera importante.

Un ejemplo de un estudio pinch realizado en la región, corresponde al elaborado por dos investigadores de la Universidad Nacional de Colombia, donde analizan el potencial de integración térmica en la planta de cracking catalítico de la Refinería de Cartagena, que estimó beneficios de alrededor de 770,000 \$US/año incluyendo la generación de 6800 Lb/h de vapor y la reducción en los consumos energéticos representados en agua y vapor de media presión, con una inversión de 400,000 \$US y un tiempo de retorno de la inversión de 6 meses. (Rios Hurtado & Grisales Rincon, 2003)

### **Hornos de Proceso**

Entre el 60% y 70% del combustible que se consume en las refinerías es usado en hornos. (Energy Star, 2015).

Entre las recomendaciones más importantes para mejorar la eficiencia energética en la operación de los hornos están: mantenimiento regular de los quemadores, así como de los intercambiadores de calor y del sistema de control, con el fin de minimizar el exceso de aire en la combustión, limitándolo a 2-3% de oxígeno. Otra recomendación es hacer precalentamiento del aire, donde el gas de salida del horno es usado para precalentar el aire de combustión.

La instalación de tecnología de punta en los quemadores también ha sido documentada por los investigadores del Energy Star, como una de las recomendaciones más importantes para mejorar la eficiencia de los hornos, al tiempo de disminuir las emisiones de NOx de los mismos, señalando que la empresa estadounidense Chevron en colaboración con John Zink Co, desarrolló quemadores bajos en NOx para aplicaciones de refinerías. Estos quemadores que reducen las emisiones de NOx de 180 ppm a 20 ppm, fueron instalados en las unidades de destilación atmosférica y de vacío, así como en el reformador de la refinería Richmond, de Chevron en California. En el caso específico de la instalación de los quemadores en el horno del reformador la investigación reveló que redujeron las emisiones sobre el 90% y eliminaron la necesidad de un SCR (Selective Catalytic Reduction), ahorrando a la refinería 10\$ millones de dólares en costo de capital y 1.5 millones de dólares en costos operativos. (Energy Star, 2015)

### **Destilación**

La destilación es una de las operaciones con mayor uso de energía en las refinerías de petróleo. Este proceso de separación se realiza de manera importante en las unidades de destilación atmosférica y de vacío, pero también en otras unidades de conversión, que lo usan como un proceso adicional para separación de sus productos.

Algunas recomendaciones para mejorar la eficiencia energética de las unidades de destilación son:

**Tabla 4. Medidas de eficiencia energética en las unidades de destilación**

Medida	Resultado
Optimizar los procedimientos de operación	Optimizando la razón de reflujo de la columna de destilación se pueden producir ahorros significativos de energía. La eficiencia de una columna de destilación es determinada por las características de la alimentación. Si la característica de la alimentación ha cambiado a lo largo del tiempo comparada con las condiciones de diseño, es necesario realizar mejoras operacionales que se ajusten a la nueva realidad de la alimentación de las torres.
Optimización de la pureza requerida del producto	Muchas compañías tienden a purificar excesivamente sus productos, algunas veces por buenas razones. Sin embargo, purificar hasta 98% cuando 95% es aceptable no es necesario. En este caso el reflujo debe ser disminuido en pequeños incrementos hasta alcanzar la pureza deseada. Esto disminuirá los requerimientos del rehervidor ( <i>reboiler</i> ).
Reducir los requerimientos del rehervidor ( <i>reboiler</i> )	Los rehervidores consumen una gran parte del uso de energía total de una refinería. Un estudio usando agua fría en una unidad de CDU de 100 kbd arrojó un estimado de ahorro de 12.2 MMBtu/hr por un aumento de 5% en los requerimientos de refrigeración (2.5 MMBtu/hr). <sup>5</sup>
Mejorar los internos de la columna	A medida que los internos se desgastan, la eficiencia de la columna disminuye y la caída de presión aumenta. Esto causa que la columna opere con un mayor reflujo y aumente el consumo de energía. Reemplazando los platos por nuevos o añadiendo empaques de alto desempeño se puede incrementar sustancialmente el desempeño de la columna. Los nuevos diseños de platos mejoran la eficiencia energética, disminuyen la caída de presión y reducen el consumo de energía.
Optimizar el Stripper (Despojador)	Los strippers de vapor son usados en varios procesos, uno de los más importantes en el CDU. La optimización de la operación de los strippers puede ahorrar energía considerablemente.
Instalar un sistema de control de procesos avanzado	Las columnas de destilación son un clásico ejemplo donde el Control Avanzado de Procesos (APC) puede tener muchos beneficios. Un proyecto APC fue llevado a cabo en el Complejo de Olefinas Corpus Christi de LyondelBasell, en Texas para optimizar la presión del cabezal dilución – vapor. Esta es una opción de bajo costo para reducir el consumo de energía. La automatización de la minimización de la presión, resulta en la optimización del proceso y captura de beneficios la mayoría del tiempo. Algo que no es posible manualmente. En general, en el proyecto, la reducción del cabezal de dilución-vapor se logró de 110 psig a 102 psig. El costo del proyecto fue mínimo y los beneficios fueron 73000 MMBtu y ahorros netos de \$300.000 por año.

Fuente: (Energy Star, 2015). Elaboración propia.

<sup>5</sup> Asumiendo que la temperatura del agua enfriada es de 50F.

## Administración del Hidrógeno y Recuperación

La disposición de hidrógeno en las refinerías es clave para hacer posibles procesos como el hidrotratamiento y el hidrocrackeo, sin embargo, la producción de hidrógeno es un proceso con un consumo intensivo de energía, por lo que es necesario que los refinadores aumenten su capacidad de optimización de la producción y uso de hidrógeno dentro de sus plantas. Algunas plantas que permiten la generación de hidrógeno son: la unidad de reformación de nafta (reformador) y la unidad de reformación de gas natural. Para lograr una mayor eficiencia en la administración del hidrógeno y su recuperación algunas recomendaciones de la Energy Star son:

a) *Integración de las redes de uso del Hidrógeno:* La mayoría de los sistemas de hidrógeno de las refinerías muestran una integración limitada y el hidrógeno puro es enviado desde los reformadores a diferentes procesos en las refinerías. La refinería de BP en Carson, California, en cooperación con la Comisión de la Energía de California realizó un análisis Pinch (o de integración) de Hidrógeno identificando un potencial total de ahorros de 4.5 millones de dólares.

b) *Recuperación de Hidrógeno:* El hidrógeno puede ser recuperado indirectamente dirigiendo las corrientes de hidrógeno de baja pureza a la planta de hidrógeno. El hidrógeno puede ser también recuperado de los off gases<sup>6</sup> dirigiéndolos al purificador existente de la planta de hidrógeno o instalando purificadores adicionales para tratar off gases. Las corrientes de gases provenientes del hidrocrackeo, hidrotratadores, la unidad de coquificación retardada (DCU) y la unidad de craqueo catalítico (FCC) son adecuadas para la recuperación del hidrógeno. El hidrogeno puede ser recuperado usando varias tecnologías, las más importantes son: Pressure Swing Absorption (PSA) y Thermal Swing Absorption, Destilación

Criogénica y membranas. La escogencia de la tecnología de separación depende de la pureza deseada, el grado de recuperación, la presión y la temperatura. Varios fabricantes suministran diferentes tipos de tecnologías, incluyendo: Air Products, Air Liquid, Linde y UOP. La tecnología de membrana generalmente representa la mejor opción en costo para bajos flujos. Para altos flujos, la tecnología más convencional es PSA.

c) *Optimizar la producción de Hidrógeno:*

- Uso de un pre-reformer adiabático: Si hay un exceso de vapor disponible en la planta, un pre-reformador puede ser instalado en el reformador. Instalar un pre-reformador en una planta existente típicamente incrementará la producción de hidrógeno en 10-20%.
- Precalentamiento de la alimentación y del gas de combustión del reformer: Un sistema de recuperación de calor puede ser usado para precalentar la alimentación y el aire de combustión del reformador. El incremento de la temperatura del aire de combustión y la alimentación del reformador puede reducir el consumo de combustible en 42%.
- Gasificación de las fracciones pesadas de fondo: La fracción pesada de fondo de una refinería produce una mezcla de monóxido de carbono e hidrogeno. La gasificación puede ser combinada con producción de energía en una planta de gasificación y ciclo combinado integrado (IGCC), produciendo hidrógeno y electricidad.

## Motores

Los motores eléctricos representan alrededor del 80% del uso de electricidad de una refinería. Las aplicaciones principales son 60% bombas, 15% compresores de aire, 9% ventiladores y 16% otras aplicaciones. (Energy Star, 2015).

<sup>6</sup> Un gas que se produce como un subproducto del proceso.

**Tabla 5. Medidas de eficiencia energética en Motores**

Medida	Resultados
Plan de Administración de Motores	Un buen plan de gestión de motores permite alcanzar ahorros a largo plazo, asegurando que las fallas de los motores puedan ser manejadas de manera rápida y costo efectiva. Este plan debe contener: una guía para la toma de decisiones de reparación y remplazo de motores. Crear un inventario de piezas de respaldo claves. Contar con especificaciones de compra y especificaciones de reparación. Desarrollar e implementar un sistema de predictividad de daños y mantenimiento preventivo. <sup>7</sup>
Selección Estratégica de los motores	Seleccionar motores energéticamente eficientes reduce las pérdidas de energía en su operación. En Estados Unidos, un motor es considerado eficiente en energía, si cumple con los criterios de funcionamiento publicados por la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA, por sus siglas en ingles). Algunas veces el simple remplazo de un motor en operación con un modelo premium en eficiencia puede tener un período de retorno muy bajo, menos de 15 meses para motores de 50 hp.
Mantenimiento	Es importante establecer y seguir planes de mantenimiento preventivo (revisión de consideraciones eléctricas, minimización de desbalance de voltajes, cargas, ventilación y alineación del motor y lubricación) y de mantenimientos predictivos (haciendo monitoreo de la temperatura del motor, vibración y otra data operativa de manera de determinar en qué momento será necesario hacerle una revisión o el cambio del motor, antes que la falla ocurra).
Apropiado dimensionamiento de los motores	Los motores que son dimensionados inapropiadamente resultan en una pérdida innecesaria de energía. El remplazo de motores sobre dimensionados con motores apropiadamente dimensionados reduce el consumo de electricidad de los motores.
Variadores de Velocidad Ajustables (ASDs)	Los variadores de velocidad son dispositivos con la función de controlar la velocidad de los motores, de acuerdo a la carga requerida en la operación. Estos son ofrecidos por una variedad de fabricantes a nivel internacional. La investigación de Energy Star sugiere que en una amplia variedad de aplicaciones puede ser alcanzado un ahorro de energía entre 7 – 60% por el uso de variadores de velocidad, y que periodo de recuperación de inversión oscila entre 1 y 3 años.
Minimizar los desbalances de voltajes	El desbalance de voltaje degrada el funcionamiento y acorta el tiempo de vida de los motores trifásicos. (Energy Star, 2015) sugieren como regla general que el desbalance de voltaje en los terminales del motor no exceda el 1%. Para un motor de 100 hp operando 8.000 horas/año, corregir un desbalance de 2.5% a 1% resultará en ahorros de electricidad de 9.500 kWh o casi 500 US\$ de costos de electricidad.

Fuente: (Energy Star, 2015) Elaboración propia.

<sup>7</sup> Para más información sobre medidas de eficiencia energética en motores (Energy Star, 2015) recomienda consultar <http://www.cee1.org/content/motoring-along-higher-efficiency>

## Bombas

El 59% del consumo de electricidad de los motores en una refinería, viene dado por los motores de las bombas. Esto convierte a las bombas en el equipo de mayor consumo de electricidad, requiriendo alrededor del 48% del consumo de energía eléctrica total en una refinería (Energy Star, 2015).

Las bombas son usadas a lo largo de todas las plantas de la refinería para generar presión y mover líquidos. De acuerdo a la Energy Star, del 30% a 50% de la energía consumida por estos equipos puede ser ahorrada con mejoras al sistema de control. Es importante acotar que el gasto inicial que se realiza al comprar una bomba, es sólo una fracción del costo del ciclo de vida del sistema de bombeo, la mayoría de las veces los costos de electricidad, operación y mantenimiento son mucho más importantes cuando se analiza los costos a lo largo del ciclo de vida del sistema de bombeo. En general, para un sistema de bombeo con un tiempo de vida de

20 años, el costo inicial de capital de la bomba y motor, alcanza a penas 2.5% de los costos totales (Energy Star, 2015).

Los sistemas de bombeo consisten en una bomba, un motor, sistemas de tuberías y sistemas de control. Una de las maneras de incrementar la eficiencia de un sistema de bombeo es realizar un apropiado dimensionamiento de los diámetros de las tuberías y usar revestimiento de la superficie o pulido para reducir las pérdidas por fricción, instalar un variador de velocidad, cuando la inversión se justifica, en el motor de la bomba también incrementa la eficiencia energética de la misma. Un factor clave es dimensionar adecuadamente la bomba y seleccionar la más eficiente y adecuada para el sistema donde funcionará, esto permitirá que la bomba opere lo más cerca posible de su punto de mayor eficiencia (BEP) en la curva de operación. Uno de los errores más frecuentes en la etapa de diseño, es no identificar con exactitud los requerimientos reales del sistema, por lo que usualmente los equipos son sobredimensionados.

**Tabla 5. Medidas de eficiencia energética en Bombas**

Medida	Resultados
Mantenimiento	Un programa de mantenimiento de las bombas evitara problemas de funcionamiento, permitiendo que operen óptimamente. Los principales puntos que debería contemplar un plan de mantenimiento son: Reemplazo de impeler desgastados; inspección de cojinetes y reparación; reemplazo de la lubricación de los cojinetes; reemplazo de los sellos de embalajes y de los sellos mecánicos; reemplazo de impeler y anillos de desgaste; chequeo de la alineación bomba/motor; inspección de la condición del motor.
Monitoreo	El monitoreo durante la operación y mantenimiento puede ser usado para detectar problemas y determinar soluciones para crear un sistema de bombeo más eficiente. Es importante hacer seguimiento a: Consumo de energía, monitoreo del desgaste, análisis de vibración, monitoreo de la presión y el flujo, monitoreo de la corriente o potencia, diferencia de presión y aumento de temperatura <sup>8</sup> , inspección de incrustaciones o contaminantes en el sistema de distribución.

<sup>8</sup> También conocido como monitoreo termodinámico.

Controles	Un sistema de control puede incrementar la eficiencia de energía de un sistema de bombeo apagando algunas bombas cuando la demanda disminuye.
Bombas de Alta Eficiencia	En EEUU se ha estimado que cerca del 16% de las bombas de la industria tienen más de 20 años de uso, considerando que la eficiencia de una bomba puede degradarse 10 a 25% a lo largo de su vida, su remplazo puede otorgar importantes beneficios en cuanto a eficiencia. En la actualidad un gran número de bombas de alta eficiencia están disponibles, seleccionado la bomba correcta puede ahorrar costos de capital y operacionales.
Dimensionamiento apropiado de las bombas	Las bombas que están sobredimensionadas consumen más energía que lo que es verdaderamente necesario. Se estima que el 75% de los sistemas de bombeos están sobredimensionados. La refinería de Chevron en Richmond, California, identificó dos bombas secundarias que estaban erróneamente dimensionadas y requerían estrangulamiento en la operación. Las bombas de 400 hp y 700 hp fueron remplazadas por dos bombas de 200 hp equipadas con variador de velocidad. Esto redujo el consumo de energía en 4.3 millones de kWh por año, y resultó en ahorros anuales de \$215.000. Con una inversión de \$300.000 y un período de retorno de 1.4 años. (Energy Star, 2015)
Múltiples bombas para cargas variables	El uso de bombas múltiples instaladas en paralelo puede ser una medida costo efectiva y una solución eficiente energéticamente para sistemas de bombeo con carga variable. Bombas paralelas ofrecen redundancia e incrementan la confiabilidad del sistema, y pueden reducir el uso de la electricidad de 10% a 30% para cargas con alta variación. (Energy Star, 2015). Los arreglos paralelos frecuentemente consisten en una gran bomba que opera donde periodos de demanda pico y una bomba pequeña (pony pump) que es dimensionada para operación normal, esta configuración opera más eficientemente que un sistema que depende de una sola bomba grande para manejar cargas muy por debajo de su optima capacidad.
Variadores de Velocidad Ajustables (ASDs)	Los variadores de velocidad permiten ajustar la velocidad a los requerimientos de carga de una bomba. Pequeñas reducciones en el flujo, proporcionales a la velocidad de la bomba puede resultar en importantes ahorros de energía por fricción. De acuerdo a lo publicado por Energy Star 82% de las bombas en la industria de EEUU no tiene modulador de velocidad, y al incluirlos se estima que se pueda ahorrar hasta un 25% del consumo de energía de la bomba, con relativos periodos de la inversión cortos, dependiendo de la aplicación, tamaño de la bomba, carga y variación de la carga. Los ahorros dependen de manera importante de la curva del sistema.
	La refinería de Chevron en Richmond, California, mejoró las bombas de alimentación al hidrotratador instalando un variador de velocidad en la bomba primaria de alimentación de 2250 hp. Les permitió ahorrar 700.000 \$/año reduciendo el consumo de electricidad en 12 GWh/año.

Evitar estrangulamiento de válvulas	El estrangulamiento de las válvulas debe siempre ser evitada. El uso extensivo de estrangulamiento o bypass loops puede ser una indicación de que la bomba se encuentra sobredimensionada.
Dimensionamiento adecuado de las líneas	Las tuberías que son muy angostas para cumplir un requerimiento de velocidad pueden incrementar la cantidad de energía requerida en el bombeo. Es importante realizar un balance entre ahorro de energía y costos de los componentes de la tubería por incrementar el diámetro.
Recubrimiento de superficies y pulido	El uso de recubrimientos y pulido reduce la rugosidad de la superficie y ayuda a mantener la eficiencia energética de la bomba. La medida es más eficiente para bombas pequeñas.

Fuente: (Energy Star, 2015) Elaboración propia.

### Sistema de ventilación

Los ventiladores son usados en un gran número de sistemas, incluyendo calderas, hornos y torres de enfriamiento. Como en otras aplicaciones de motor un número considerable de oportunidades de mejora del funcionamiento y de mejora de eficiencia energética existen, entre ellas: (a) tener un adecuado programa de mantenimientos, que mejore el funcionamiento, reduzcas las paradas, minimice los costos de reparación e incremento la confiabilidad del sistema. (b) Un correcto dimensionamiento de los ventiladores. (c) usar variables de velocidad y mejorar los controles, (d) usar correas de alta eficiencia y (e) realizar las reparaciones de los ductos de ventilación.

### Iluminación

La iluminación y otros servicios representan menos del 3% del uso total de electricidad en refinerías, pero existen potencial para lograr eficiencia en estas áreas: algunas de las más importantes son: (a) apagar las luces de zonas no ocupadas, (b) control de la iluminación, (c) remplazo de las luces de las señales de Salida (*Exit*) por luces LED y en general, realizar el remplazo de las luces de las instalaciones por luces de mayor eficiencia y considerar en los diseños el aprovechamiento de la luz del día.

### Generación de Electricidad

La mayoría de las refinerías disponen de alguna forma de generación de electricidad en sitio. En los Estados Unidos, por ejemplo, el 30% de los requerimientos de electricidad son generados en sitio. (Energy Star, 2015). Las refinerías ofrecen una excelente oportunidad para generación eléctrica de una manera eficiente en la forma de producción combinada de electricidad y calor (CHP). La cogeneración provee la oportunidad para usar los productos generados internamente para producción de electricidad, permitiendo una mayor independencia de la red eléctrica e incluso en algunas oportunidades exportar a la red. Otra alternativa de generación de electricidad en refinerías es la gasificación, aunque tiene importantes limitaciones a nivel económico, pues no en todas las refinerías resulta factible la inversión.

**Las refinerías ofrecen una excelente oportunidad para generación eléctrica de una manera eficiente en la forma de producción combinada de electricidad y calor (CHP).**

## **Generación combinada de calor y electricidad (CHP)**

La industria de la refinación es una de los principales usuarios de la cogeneración o CHP en los Estados Unidos. La capacidad instalada en EEUU es estimada en 6.700 MWe, haciéndolo el más grande usuario luego de la industria del papel en EEUU. Sin embargo, sólo el 10% de todo el vapor usado en la refinación es generado por Cogeneración. De hecho, la industria de la refinación tiene un extraordinario potencial para incrementar las aplicaciones de la CHP. La economía de la operación de CHP en refinación es generalmente atractiva, especialmente con bajos precios de gas natural, aunque estos sistemas requieren una importante inversión (1.000-2.500 \$/kW). (Energy Star, 2015)

De acuerdo a la Energy Star, en Estados Unidos un 60% de las facilidades de cogeneración en las refinación son propiedad y operadas por terceros. Trasladando estos gastos de capital fuera de las refinación. Por ejemplo, en 2001, BP Whiting, Indiana refinación instaló una unidad de 525 MW con una inversión total de 250 millones de dólares realizada por Primary Energy INC. Muchos proyectos de cogeneración pueden ser financiados de esta manera, otras oportunidades consistieran en Joint Ventures entre la refinación y un operador y generador de energía para construir la facilidad.

En 2004, Exxon Mobil instaló un sistema de cogeneración de gas natural para apoyar el complejo refinador en Baytown, Texas. Este uno de los más grandes complejos de los Estados Unidos, consistiendo en una refinación, dos centros de investigación y dos plantas de procesamiento para conversión de combustibles, producción de lubricantes y procesamiento de petroquímicos. Hasta 171 MW de electricidad y 560.000 libras de vapor por hora puede ser producidas por el sistema CHP. La eficiencia de la operación es estimada en 73%. (Energy Star, 2015)

Otro ejemplo documentado por la Energy Star, corresponde a la refinación Salt Lake City de

Tesoro, que instaló una planta de CHP en 2004, la cual corre con una mezcla de gas de refinación y gas natural externo. La planta de CHP está diseñada para cubrir las necesidades de vapor y electricidad que consume la refinación y el exceso de electricidad es vendido a la red. El proyecto total costo 25 millones de dólares con un ahorro mensual de 200.000 dólares. Las emisiones de gases de efecto invernadero se redujeron en más de 500 toneladas al año.

Ejemplos adicionales demuestran que aún para pequeñas refinación, un CHP puede ser una opción viable. Una evaluación realizada en la refinación de asfalto de Paramount Petroleum, California, identificó la oportunidad de instalar una unidad de CHP en la refinación con grandes oportunidades de ahorrar energía. Una turbina de gas de 6.5 MWe resultaría en una oportunidad de ahorrar 3.8 millones de dólares en energía y periodo de retorno de 2.5 años, la unidad fue instalada en 2002.

## **Gasificación**

El estado del arte de la gasificación combina los productos pesados de la refinación con oxígeno a altas temperaturas en un gasificador. Debido a la limitada cantidad de oxígeno, las fracciones pesadas son gasificadas en una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno. Una de las aplicaciones de este gas de síntesis es usarlo para la generación de electricidad en una IGCC, integrate gasification combine cycle. En la instalación, el gas de síntesis es quemado en una turbina de gas con una cámara de combustión adaptada para manejar gases de bajo y medio BTU, para generar electricidad. Los gases de salida calientes son usados para generar vapor. El vapor puede ser usado en sitio o usado en una turbina de vapor para producir electricidad adicional.

La tecnología IGCC fue originalmente desarrollada para aplicaciones de refinación, pero también es usada para la gasificación del carbón. Los principales desarrolladores de esta tecnología fueron Shell y Texaco. IGCC provee una oportunidad de bajo costo para reducir emisiones

(Sox y Nox) comparada con la combustión de los residuos. Aproximadamente 40 refinerías en Estados Unidos tienen una suficiente capacidad para hacer esta tecnología económicamente viable. (Energy Star, 2015)

Hay muchas experiencias de uso del IGCC en fracciones de refinería alrededor del mundo, la investigación realizada por la Energy Star ha documentado las siguientes: La refinería Shell en Holanda, Pernis, usan IGGCC para procesar 1650 toneladas al día de residuos pesados desde el visbreaker y otros residuos para generar 117 MWe de electricidad y 285 toneladas de hidrógeno en la refinería. En Italia, 4 refinerías usan IGCC para tratar los residuos del visbreaker para producir un total de 1.600 MWe de electricidad. En los Estados Unidos, la refinería Frontier Oil, en Kansas produce 35 MWe de coke de petróleo y líquidos de desperdicio. La refinería Delaware City, in Delaware, opera una IGCC que procesa 2.000 toneladas de coque de petróleo y produce 120 MWe de electricidad. El costo de la inversión puede variar de acuerdo a la capacidad y productos de la instalación. Un estudio de Domenichi and Mansuso (Energy Star, 2015) mostró que los costos de inversión total de estas cercas de 1.100 millones para un IGCC con un flujo de 3.100 toneladas de residuos pesados y una salida neta de 185 mWe y una producción de hidrógeno de 100.000 Nm<sup>3</sup>/h. Los costos de operación dependerán del costo de la electricidad, gas natural, y el costo del manejo de los residuos pesados y su procesamiento.

## CONCLUSIONES

A lo largo del artículo se ha presentado un resumen investigativo sobre las oportunidades de eficiencia energética implementadas en diversas refinerías a nivel mundial en los últimos años y que han sido documentadas por entes oficiales como evidencia de los resultados exitosos obtenidos: un mejor control del consumo de energía de sus procesos y un ahorro de energía importante, que han permitido obtener,

en muchos casos, en corto y/o mediano plazo el retorno de las inversiones. Permitiendo entender que la eficiencia energética no es solamente un compromiso en beneficio del medio ambiente y de la sostenibilidad de la industria, pero además ofrece oportunidades reales de ahorro económico para las refinerías, disminuyendo los costos operacionales relacionados con el consumo energético.

Los avances tecnológicos han hecho posible tener a la disposición equipos más eficientes energéticamente, al tiempo de contar con instrumentación que permite realizar, la mayoría de las veces de manera automatizada, la medición de las variables de los procesos y de sus consumos, asegurando un control más minucioso de los procesos y la oportunidad de disponer registros históricos de los mismos de manera automática. Es una gran ventaja que dispone la industria en la actualidad y que hace posible una revisión energética muy detallada de las refinerías y el establecimiento de un plan de desempeño energético, acorde con la realidad de cada una.

Que estos esfuerzos por mejorar el desempeño energético de las refinerías, se realicen a través de una metodología coherente y estructurada, enfocada en la mejora continua de los sistemas, como es el estándar internacional ISO 50001, no sólo permite la implantación exitosa de medidas de eficiencia energética, sino que además, motivados por la meta de lograr una acreditación internacional, se incrementará el compromiso y los esfuerzos de todos los miembros de la organización en relación al sistema de gestión energética de la empresa.

Uno de los beneficios más valiosos de la implantación de un Sistema de Gestión de Energía es la profundización del valor de la mejora continua dentro de la cultura corporativa de la organización, sabiendo que siempre hay espacio para mejorar el desempeño, siempre y cuando se pueda contar con la posibilidad de medir donde se está en el presente y tener una visión clara de dónde se quiere estar en el futuro,

haciendo una revisión periódica de los progresos alcanzados y estableciendo medidas correctivas y preventivas que sirvan de retroalimentación al proceso.

Se espera que con el artículo se haya contribuido al análisis, al debate y al enriquecimiento del conocimiento en el tema de eficiencia energética de todos aquellos que son parte de la industria de la refinación regional y que pueda apoyar a las organizaciones e incentivarlas a implementar un sistema de gestión energética dentro de sus refinерías, que permita que la industria se comprometa cada vez más con los esfuerzos globales por hacer un uso más sustentable de

la energía, siendo parte activa de la solución al disminuir sus emisiones de gases de efecto invernadero.

También se ha querido resaltar la importancia de que la eficiencia energética se convierta en una prioridad para los gobiernos de la región. Tal como se evidenció en ejemplos mostrados dentro de la investigación, cuando desde el propio gobierno se da todo el apoyo a las organizaciones, es mucho más sencillo para ellas la obtención de los financiamientos y el apoyo técnico necesario para implantar las medidas de eficiencia energéticas encontradas.



## REFERENCIAS

- ARPEL. (2013). Guía ARPEL - Índices de energía en la Industria de Petróleo y Gas. Recuperado el 01 de Octubre de 2017, de <http://www20.iadb.org/intal/catalogo/PE/2013/11752es.pdf>
- Arthur D. Little. (2017). Perspectives on the Latin American Refining Industry. LARTC. Recuperado el 01 de octubre de 2017, de <http://lartc.wraconferences.com/discussion-paper-daniel-monzon/>
- Banco Central del Ecuador. (23 de marzo de 2018). Reservas Internacionales. Obtenido de <https://www.bce.fin.ec/index.php/nuevas-publicaciones1>
- Blanton, R. (2010). Environmentally and Economically Beneficial Flare Gas Recovery Projects in Petrochemical Facilities. John Zink Company LLC, Gas Recovery Group. San Antonio, TX: John Zink Company LLC. Recuperado el 01 de 08 de 2017, de <https://www.johnzink.com/wp-content/uploads/NPRA-2010-Environmental-Conference-Paper.pdf>
- BP. (2017). BP Statistical Review of World Energy June 2017. Recuperado el 01 de octubre de 2017, de <http://www.bp.com/statisticalreview>
- BUREAU VERITAS business school. (s.f.). Identificación de la Gestión Energética en las Empresas.
- BUREAU VERITAS. (s.f.). Descripción de la Verificación y Revisión del Sistema de Gestión Energética.
- ECOPETROL. (14 de Septiembre de 2014). Exportaciones de Crudo. Obtenido de [https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/comercio-internacional/exportaciones/exportaciones-de-crudo!/ut/p/z0/04\\_Sj9CPykyssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziLQ1MHd09DQy9DQJDDQ0cjQzNPJ3CHIMCvE30C7IdFQHDKIKO/](https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/comercio-internacional/exportaciones/exportaciones-de-crudo!/ut/p/z0/04_Sj9CPykyssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziLQ1MHd09DQy9DQJDDQ0cjQzNPJ3CHIMCvE30C7IdFQHDKIKO/)
- EIA. (2015). Refining Crude Oil. Recuperado el 30 de noviembre de 2017, de [https://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=oil\\_refining#tab2](https://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=oil_refining#tab2)
- EIA. (2017). Table 5. Refiners' Total Operable Atmospheric Crude Oil Distillation Capacity as of January 1, 2017. Recuperado el 15 de 11 de 2017, de <https://www.eia.gov/petroleum/refinerycapacity/table5.pdf>
- ENERGY STAR. (2015). Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Petroleum Refineries. EPA. Recuperado el 01 de Septiembre de 2017, de <https://www.energystar.gov/buildings/tools-and-resources/energy-efficiency-improvement-and-cost-saving-opportunities-petroleum-refineries>
- Fundamentals, T. D. (1998). Colorado School of Mines. Recuperado el 01 de diciembre de 2017, de <http://inside.mines.edu/~jjechura/Refining/DECOKTUT.pdf>
- García, F., & Garces, P. (2013). La Industrialización del Petróleo en América Latina y el Caribe. OLADE. Recuperado el 01 de octubre de 2017, de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0312.pdf>
- IPE. (05 de Diciembre de 2014). Cepsa certifica la eficiencia energética de todas sus refinerías. Obtenido de <http://www.ipe.org.ec/cepsa-certifica-la-eficiencia-energetica-de-todas-sus-refinerias/>
- ISO. (2011). Recuperado el 15 de enero de 2018, de <https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html>
- Lloyd's Register. (30 de enero de 2014). Obtenido de LRQA certifica con ISO 50001 el sistema de gestión energética de Repsol Cartagena: <http://www.lrqa.es/eventos/certificado-repsol-cartagena-energia.aspx>
- Minería Chilena. (5 de febrero de 2018). ENAP es reconocida como empresa líder en Eficiencia Energética. Obtenido de <http://www.mch.cl/2018/02/05/enap-reconocida-empresa-lider-eficiencia-energetica/#>
- OIL&GAS JOURNAL. (15 de agosto de 1994). BENCHMARK WEST TEXAS INTERMEDIATE CRUDE ASSAYED. Obtenido de <https://www.ogj.com/articles/print/volume-92/issue-33/in-this-issue/refining/benchmark-west-texas-intermediate-crude-assayed.html>

OIL&GAS JOURNAL. (15 de mayo de 2000). GUIDE TO WORLD CRUDES. Obtenido de <https://www.ogj.com/articles/print/volume-98/issue-20/processing/guide-to-world-crudes.html>

Parkash, S. (2003). Refining Processes Handbook. Burlington, MA, USA: ELSEVIER.

PEMEX. (07 de julio de 2014). Crudo Maya. Obtenido de <http://www.pemex.com/comercializacion/productos/Paginas/petroleo/crudo-maya.aspx>

PEMEX. (2017). Implementación de los Sistemas de Gestión de la Energía en PEMEX. Recuperado el 1 de 12 de 2017, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/234656/6\\_SGEn\\_PEMEX.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/234656/6_SGEn_PEMEX.pdf)

Presidencia de la República de Ecuador. (5 de julio de 2016). El Gobierno descartó que la inversión en la Refinería del Pacífico sea una deuda innecesaria. Obtenido de <http://www.presidencia.gob.ec/el-gobierno-descarto-que-la-inversion-en-la-refineria-del-pacifico-sea-una-deuda-innecesaria/>

REPSOL. (13 de Septiembre de 2011). La Refinería de Repsol A Coruña es la primera del mundo en obtener LA ISO 50001 de Gestión Energética. Obtenido de <https://www.repsol.es/es/sala-prensa/notas-prensa/2011/09/13/refineria-a-coruna-gestion-energetica.cshtml>

REPSOL. (2012). Estrategia baja en carbono. Obtenido de <http://memorias.repsol.com/memoria2012/es/responsabilidadCorporativa/nuestrosRetos/impulsarEstrategiaBajaCarbono/gestionCarbono.html>

Rios Hurtado, C. M., & Grisales Rincon, R. (2003). ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE INTEGRACIÓN TÉRMICA DE LAS CORRIENTES DE PROCESO DE LA UNIDAD DE RUPTURA CATALÍTICA DE ECOPETROL GERENCIA REFINERÍA DE CARTAGENA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA PINCH. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA. Recuperado el Noviembre de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/965/1/carlosmarioriosrogeliogrisales.2003.pdf>

WORLD BANK. (s.f.). Zero Routine Flaring by 2030. Obtenido de <http://www.worldbank.org/en/programs/zero-routine-flaring-by-2030#4>

Zadakbar, O., Vatani, A., & Karimpour, K. (2008). Flare gas Recovery in Oil and Gas Refineries. INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE (IFP). Obtenido de <https://ogst.ifpenergiesnouvelles.fr/articles/ogst/pdf/2008/06/ogst07116.pdf>