

República de Cuba
Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez"
Facultad de Ingeniería



Estudio y desarrollo de las herramientas para la implementación
de la Norma Cubana ISO 50001 en la U.E.B Fábrica de Azúcar
"Ciudad Caracas".

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico.

Autor:

Carlton St. Aubin Williams

Tutores:

Dr. Julio R Gómez Sarduy

Dr. José P. Monteagudo Yanes

Consultante:

Ing. Edwin García

Cienfuegos, Cuba.

2013

Declaración de Autoridad.

Por este medio hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, como parte de la culminación de los estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica, autorizando además que el mismo sea utilizado por la institución para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial o total; y por tanto no podrá ser presentado en eventos, ni publicado sin la aprobación de la institución y el autor.

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico

Nombre y Apellidos. Firma.

Nombre y Apellidos. Firma

Vice Decano

Firma del Tutor

Nombre y Apellidos. Firma.

Sistema de Documentación y Proyecto.

Pensamiento

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.”

Albert Einstein

1879-1955.

Es uno de los científicos más conocido y trascendente del Siglo XX.

“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa.”

Mahatma Gandhi

1869-1948. Político y pensador indio.

“Un viaje de mil millas comienza con el primer paso.”

Lao-tsé

570 - 490 a.C.

Agradecimientos

A Dios por haberme permitido lograr esta parte tan importante en mi vida.

A mis padres por ser mi fortaleza en la vida y apoyarme siempre en todo.

Mis agradecimientos a mi tutores, Dr. José P. Monteagudo Yanes y Dr. Dr. Julio R Gómez Sarduy, quienes durante todo el desarrollo de este trabajo fueron siempre guía, soporte, disposición y motivación.

A consultante, Ing. Edwin García gracias por su dedicación y ayuda para lograr los objetivos de este trabajo.

A los trabajadores de la U.E.B Fábrica de Azúcar "Ciudad Caracas".

A todos mis profesores que durante toda la carrera pusieron todo su empeño y dedicación, gracias por sus enseñanzas.

A Lachy por cuidarme siempre, su consejo y su incondicional apoyo para guiarme durante mi desarrollo académico.

A todos mis amigos y amigas que me apoyaron durante el transcurso de mis estudios universitarios.

A la revolución cubana por darme la oportunidad de estudiar en Cuba.

Dedicatoria

I dedicate this thesis to my loving mother,

Ms. Maureen Ricketts - Edwards

Who has loved, supported all my life & who taught me about life.

Resumen

Con el análisis de las tendencias de consumo energético a nivel mundial se puede apreciar la importancia de la gestión energética debido al desarrollo económico, industrial y social en los últimos años. Se realizó un análisis de los requisitos de la fase planificación energética en los principales sistemas de gestión de la energía, anteriores a la Norma ISO 50001, lográndose identificar las herramientas que se han propuesto. Del mismo modo, se estudiaron los requisitos de esta fase en la ISO 50001 con el propósito de identificar sus objetivos dentro del sistema de gestión. En este trabajo se presenta y explica el uso de herramientas de apoyo para la fase de planificación energética en sistemas de gestión de la energía según la Norma ISO 50001, y las posibles herramientas que faciliten el cumplimiento de los requisitos de esta fase aplicables a la U.E.B Fábrica de Azúcar.

En este trabajo, aplicando las técnicas de identificar tendencias y patrones en el uso y el consumo de todas las fuentes de energía, identificar áreas de uso significativo de la energía y evaluar el desempeño energético, se ha elaborado un documento con las principales herramientas para la implementación de dicha norma en procesos de producción de azúcar, a partir del caso de estudio en la U.E.B Fábrica de Azúcar.

Palabras claves: gestión energética, planificación energética, desempeño energético.

Summary

With the analysis of the trends in global energy consumption it can be perceived the importance of energy management due to economic, industrial and social development experienced in recent years. An analysis of requirements of the energy plan phase was carried in the principal systems of energy management, before the Norm ISO 50001, achieving the identification the tools that have been proposed. By means of the same method, requirements of said phase of the Norm ISO 50001 have been studied with the purpose of identifying their objectives within system management. In the project the use of the tools supports the energy plan phase in energy management systems in accordance with the Norm ISO 50001 and possible tools that facilitate the accomplishment of the requirements of this phase at the U.E.B sugar factory.

In this project, applying the techniques of identifying the tendencies and patterns in the use and consumption of all energy sources, identifying the areas of energy usage and evaluating the energy performance, has elaborated a document with the principal tools for the implementation of said Norm in the process of sugar production, from the case study in U.E.B sugar factory.

Key Words: Energy management, energy plan, energy plan.

Tabla de Contenido

Introducción.....	1
Capítulo 1. Problema energético contemporáneo y la gestión de energía.	4
1.1 Problemas de la energía en el mundo de hoy.....	4
1.1.1 Breve Historia de la energía.	4
1.1.2 Reservas mundiales del petróleo crudo.....	5
1.1.3 Problemas de contaminación ambiental.	8
1.2 Uso de fuentes renovables de energía.....	12
1.2.1 Energía Eólica.	13
1.2.2 Energía Hidroeléctrica.	14
1.2.3 Energía Geotérmica.....	15
1.2.4 Energía Solar.....	15
1.2.5 Biomasa.....	16
1.3 Eficiencia Energética, Oportunidades y Desafíos.....	17
1.3.1 Oportunidades.	18
1.3.2 Desafíos.....	19
1.3.3 Tendencias en el sector industrial.	20
1.4 Gestión Energética.....	23
1.4.1 Las tendencias globales para Gestión de Energía.	24
1.5 Sistemas de gestión de la energía.	25
1.5.1 Norma ANSI/MSE 2000.....	26
1.5.2 Norma EN 16001.	28
1.5.3 Guidelines for Energy Management de Energy Star.....	30
1.5.4 Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE) del CEEMA.	
32	
1.6 Desarrollo de la Norma 50001.	34
1.7 La industria azucarera contemporánea.	35

1.7.1	La Generación de Energía Eléctrica en el ingenio azucarero.....	36
1.7.2	Gestión energética en la industria del azúcar y la eficiencia energética.....	37
	Conclusiones Parciales.....	39
Capítulo 2. Las herramientas de la gestión energética y su uso en la Norma Cubana ISO 50001:2011.		
2.1	Uso de las herramientas de la gestión de energía en la ISO 50001.	40
2.1.1	Definir la política energética.....	40
2.1.2	La planificación energética en la Norma ISO 50001.....	40
2.1.3	Uso de herramientas de apoyo en la planificación energética.....	44
2.2	Posibles herramientas a emplear. Análisis crítico de las herramientas.....	46
2.2.1	Análisis del uso y del consumo de energía.....	46
2.2.2	Identificación de las áreas de uso significativo de la energía (USEn).....	53
2.2.3	Identificación de oportunidades para mejorar el desempeño energético....	56
2.3	Posibles nuevas herramientas.	58
2.3.1	Carta CUSUM tabular para el seguimiento.....	58
2.3.2	Caracterización de procesos por data de Monitoring and Targeting.....	62
	Conclusiones Parciales.....	65
Capítulo 3. Aplicación de las herramientas a usar en NC: ISO 50001 en la U.E.B Fábrica de Azúcar “Ciudad Caracas”.		
3.1	Presentación de la U.E.B Fábrica de Azúcar “Ciudad Caracas”.	66
3.2	Política Energética.	66
3.3	Presentación de datos recopilados.	67
3.4	Aplicación de las herramientas.	68
3.4.1	Revisión Energética.....	69
3.4.2	Resultado del proceso de la planificación energética.	78
3.4.3	Plan de Acción.....	81
3.5	Nuevas herramientas aplicadas al central azucarero.....	83
3.5.1	Caracterización de procesos por data de <i>Monitoring and Targeting</i>	83

3.6 Definir sobre la fundamentación energética de mejor uso el conjunto de herramientas a usar en la NC: ISO 50001 de las centrales azucareros cubanos.....	85
Conclusiones Parciales.....	87
Conclusiones Generales.	88
Recomendaciones.....	89
Referencias Bibliográficas.....	90
Bibliografía.	92
Anexo.	95

Introducción

El cambio climático global, provocado por la implacable acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre, está ya afectando a ecosistemas y provocando unas 150 000 muertes adicionales cada año. Un calentamiento global medio de 2°C es una amenaza para millones de personas que conlleva un riesgo creciente de hambre, malaria, inundaciones y sequías. Si se debe mantener el aumento de la temperatura dentro de unos límites aceptables, debemos reducir de manera considerable nuestras emisiones de gases de efecto invernadero, un hecho que tiene sentido tanto desde el punto de vista medioambiental como económico. El principal gas de efecto invernadero es el dióxido de carbono (CO₂) producido por el uso de combustibles fósiles para energía y transporte.

La madurez técnica y económica de las tecnologías de energías renovables varía de unas a otras, pero son unas fuentes que ofrecen opciones cada vez más atractivas. Estas fuentes incluyen la energía eólica, la biomasa, la fotovoltaica, la geotérmica, la de las olas y la hidroeléctrica. Todas ellas tienen algo en común: producen cantidades muy pequeñas o ninguna cantidad de gases de efecto invernadero, y se basan en fuentes naturales prácticamente inextinguibles como “combustible”. Algunas de estas tecnologías son ya competitivas y sus economías mejorarán aún más al desarrollarse técnicamente. Además, la escalada de precios de los combustibles fósiles y el ahorro de las tecnologías limpias en emisiones de dióxido de carbono tienen un valor monetario.

A la vez, existe un enorme potencial para reducir nuestro consumo energético, ofreciendo el mismo nivel de ‘servicios’ energéticos. En este estudio se detalla una serie de medidas de eficiencia energética que pueden reducir de manera importante la demanda en la industria azucarera.

Desde el punto de vista organizacional, la eficiencia energética es también un asunto de reducción de costos y de competitividad. La energía es crítica para las operaciones

de las organizaciones y puede llegar a ser un costo importante, independientemente del tamaño o de la actividad que ésta realice. Un buen desempeño energético provee beneficios a la organización al optimizar el uso de los recursos energéticos, los cuales se reflejan a través de una reducción de costos y consumo.

Resultados a largo plazo en el desempeño energético únicamente se alcanzan a través de un proceso formal y estructurado de administración de la energía, y cuando éste se convierte en parte de la estrategia de la organización. La Norma Internacional ISO 50001, la cual especifica los requisitos de un sistema de gestión de la energía, propone un modelo que permite lograr un mejoramiento continuo del desempeño energético, a partir de la implementación de una política energética y el establecimiento de unos objetivos, metas, y planes de acción.

La Norma ISO 50001 define los requerimientos que hay que cumplir, pero no indica cómo hacerlo, y en consecuencia, corresponde a cada organización decidir la forma de implementar su sistema de gestión y de demostrar la conformidad de éste con los requisitos de la Norma, según su situación, capacidad e intereses particulares. En este sentido, el uso de herramientas de apoyo facilita enormemente este cometido, tanto en el establecimiento de los objetivos, metas y planes de acción, sino aquellas que son aplicables.

Planteamiento del problema científico

La Planificación y Revisión Energética según la Norma ISO 50001 sobre Sistema de Gestión Energética, por su complejidad carece de una adecuada interpretación, por lo que es necesario familiarizarse con sus requisitos y desarrollar las herramientas para lograr su realización en la U.E.B Fábrica de Azúcar “Ciudad Caracas”.

Hipótesis

De este modo, un documento guía que exponga las posibles herramientas de utilidad para el cumplimiento de los objetivos asociados a los requisitos de la fase de planificación energética y revisión podría facilitar la implementación de sistemas de

gestión de la energía de acuerdo a la Norma ISO 50001 en la U.E.B Fábrica de Azúcar “Ciudad Caracas”.

Objetivo General

Establecer herramientas para desarrollar el proceso de planificación y revisión de la U.E.B Fábrica de Azúcar “Ciudad Caracas” partir de los requisitos establecidos en la ISO 50001.

Objetivos Específicos

- Realizar un análisis crítico de los sistemas de gestión de energía existente en el mundo.
- Analizar los requisitos de la fase de planificación energética de la Norma Cubana ISO 50001 para comprender los objetivos perseguidos en cada uno de ellos.
- Realizar un estudio de caso del sistema de producción de caña molida y azúcar en la U.E.B Fábrica de Azúcar, aplicando las posibles herramientas identificadas para la fase de planificación energética.

Capítulo 1. Problema energético contemporáneo y la gestión de energía.

1.1 Problemas de la energía en el mundo de hoy.

1.1.1 Breve Historia de la energía.

El hombre, a lo largo de su historia evolutiva ha realizado mediante su propio esfuerzo físico actividades que consumían energía, apoyándose adicionalmente en los animales domésticos como los caballos, bueyes, etc. Hasta la llegada de la Revolución Industrial, la utilización de sistemas mecánicos para proporcionar energía se limitaban a los molinos de viento o de agua. Cualquier aplicación de estas tecnologías para la realización de trabajos resultaba de poco rendimiento.

De las fuentes de energía, la primera y más importante de las utilizadas por el hombre fue la leña, gracias a la abundancia de bosques que proliferaban por todas partes del mundo. Otras fuentes puntuales solamente se utilizaban allí donde eran accesibles, tales como filtraciones superficiales de petróleo, carbón o asfaltos.

Durante el primer tercio del siglo XIX, aproximadamente hacia 1825-30, se pudo avanzar en la aplicación práctica de la máquina de vapor, que daría comienzo a la era contemporánea; se trataba de la primera herramienta que no utilizaba fuerzas o tracción de origen animal, y que comenzó a emplearse industrialmente. Junto con la llegada y desarrollo de los motores de combustión interna y la utilización del gas para calefacción y alumbrado, se produjeron grandes avances en la generación práctica de energía eléctrica.

La enorme demanda de carbón comenzó a declinar con la comercialización del petróleo y sus derivados. El número de compañías petrolíferas creció en proporción a los nuevos mercados que se crearon: transportes, energía, calefacción, etc. La búsqueda de yacimientos petrolíferos fue una constante ante las expectativas que se intuían. Oriente próximo se convirtió en una zona sensible, siendo Gran Bretaña la que estableció en Irán en 1941 el primer campo petrolífero.

La segunda guerra mundial generó grandes demandas de combustibles, siendo las empresas de Estados Unidos las que se expandieron con mayor éxito por todo el mundo; de hecho, en 1955 las dos terceras partes del petróleo del mercado mundial, salvo el bloque soviético y América del Norte, eran suministradas por cinco empresas de petróleo de Estados Unidos. A la vez, Oriente Próximo se convirtió en la mayor reserva de crudo del mundo.

En 1973 la creciente demanda de energía del mundo desarrollado sufrió una acusada crisis. Los países árabes productores de petróleo embargaron el suministro de crudo a Estados Unidos, y recortaron su producción, generando alarma entre todos los implicados, productores y consumidores. Una segunda crisis del petróleo se daría de nuevo en 1978 cuando fue destronado *el Sha* de Persia; la producción de Irán cayó a niveles mínimos. En 1980 el crudo se había revalorizado 19 veces en comparación con 1970.

Desde 1973 el precio del crudo ha ido en constante aumento, ante esa situación, los mercados que hasta entonces se habían consolidado en el petróleo y gas, dieron nuevas expectativas al carbón que había quedado, convirtiéndose en la alternativa en costes para las industrias, especialmente las centrales eléctricas. De esta forma el carbón comenzó a recuperar el mercado perdido.

1.1.2 Reservas mundiales del petróleo crudo.

En los últimos años, el mercado internacional de petróleo crudo presentó importantes fluctuaciones como resultado de la actividad económica mundial. Las reservas de petróleo son un indicador de gran importancia para el mercado de petróleo crudo.

Éstas son uno de los pilares de las finanzas y la planeación de las compañías petroleras y, de los países productores. Geográficamente las reservas de crudo se encuentran concentradas en algunas regiones específicas. El volumen de éstas es cambiante, ya que depende de los descubrimientos derivados de la actividad exploratoria, reclasificación de reservas, avances tecnológicos y ritmo de producción. La evolución de estos volúmenes incide directamente sobre la seguridad energética y geopolítica de los países.

Al cierre de 2011, las reservas probadas mundiales de petróleo crudo ascendieron a 1652,6 miles de millones de barriles (MMMb), 1,9% por arriba de 2010. Los países de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), que en su mayoría se encuentran ubicados en las regiones de Medio Oriente y África, aportaron 77,2% de dicho volumen. Los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) contribuyeron con 14,2% de las reservas mundiales. Esto muestra la importancia del comercio internacional de petróleo crudo, ya que en conjunto, estos últimos países demandan la mayor cantidad de crudo.

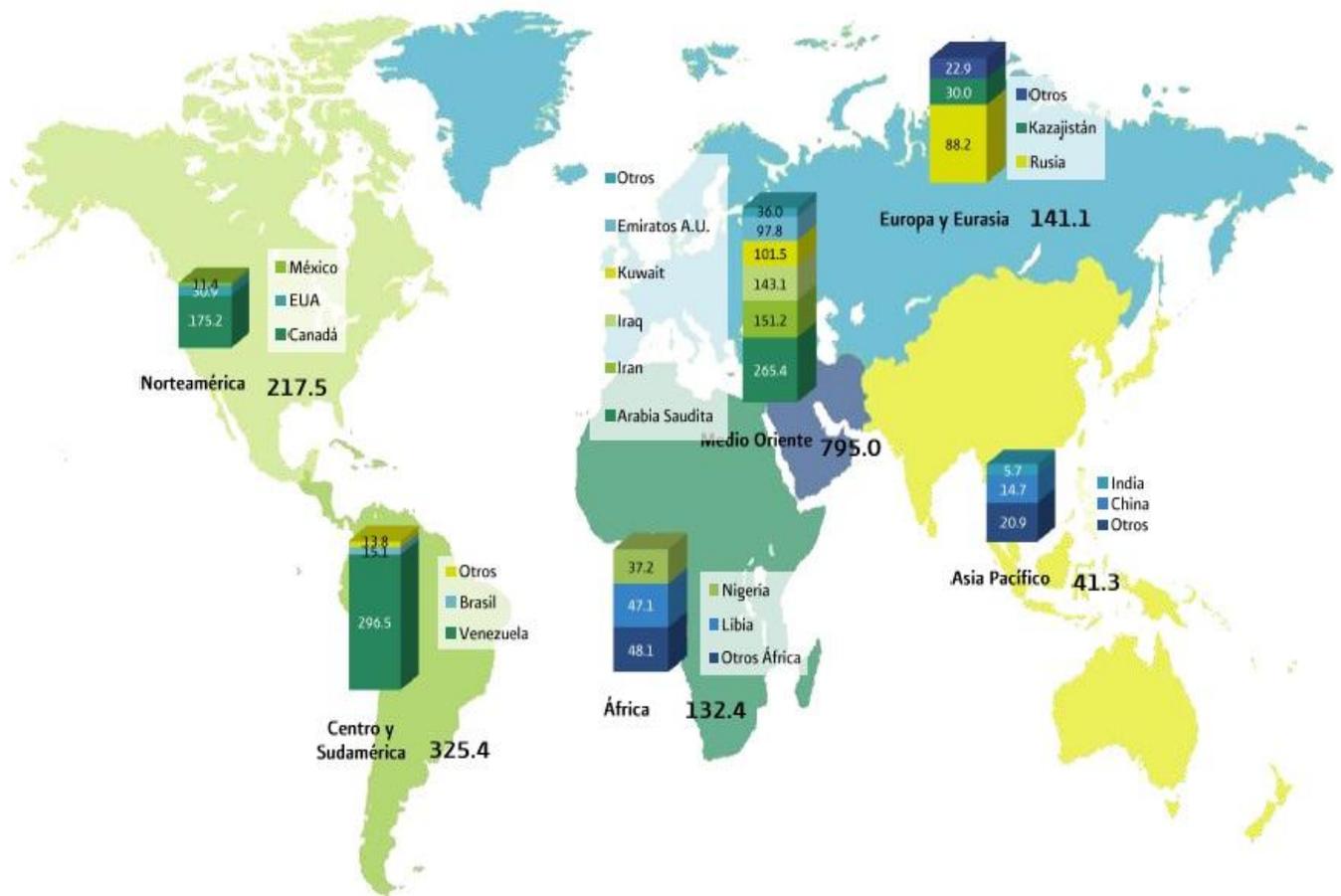


Figura 1.0 Reservas de petróleo probadas por región, 2011. (Martínez, 2012)

La región con la mayor cantidad de reservas de petróleo crudo fue Medio Oriente, al totalizar 795 MMMb en 2011. Dicho volumen representó 48,1% de las reservas mundiales (véase Figura 1.1).

Las reservas probadas de la región Centro y Sudamérica ascendieron a 325,4 MMMb en 2011. Cabe destacar que en 2009 Venezuela incorporó 38,9 MMMb, principalmente del área geográfica Faja Petrolífera del Orinoco, lo que representó 18,4% de sus reservas en dicho año. Según el *BP Statistical Review of World Energy 2012*, publicado en junio de 2012 por la empresa petrolera British Petroleum (BP), Venezuela ocupa el primer lugar en reserva probadas de petróleo en el mundo, con 296,5 MMMb, superando a Arabia Saudita, que contaba con 265,4 MMMb.

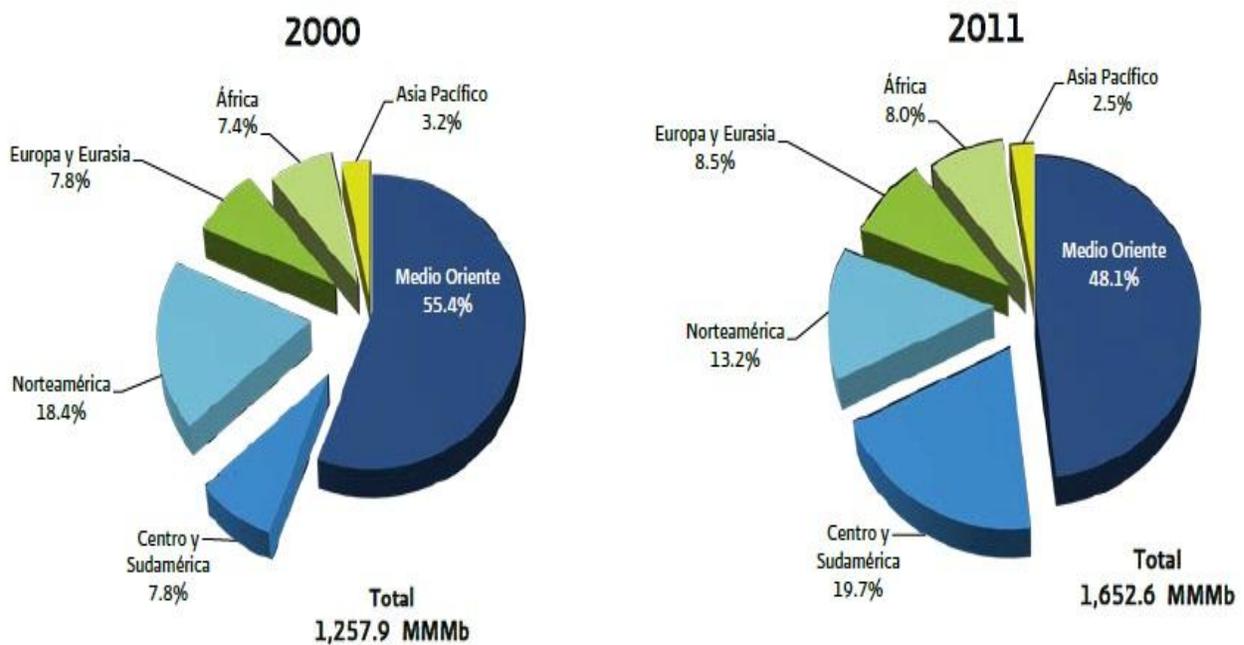


Figura 1.1 Participación por región de las reservas probadas mundiales de petróleo, 2000 – 2011 (Martínez, 2012).

La relación reserva-producción (R/P) representa los años que tardarían en agotarse las reservas probadas si se mantiene un ritmo de producción determinado. Para su cálculo, tanto la producción como las reservas deben determinarse para un mismo periodo de tiempo. En promedio, las reservas mundiales de 2011 alcanzarían para mantener el nivel de producción actual durante 54,2 años más. Por su parte, la OPEP dispondría de 91,5 años de petróleo crudo si sostuviera la producción de 2011 y no se registraran nuevos descubrimientos. En contraste, la OCDE contaría con 34,7 años de suministro bajo las mismas condiciones de producción y descubrimientos de 2011.

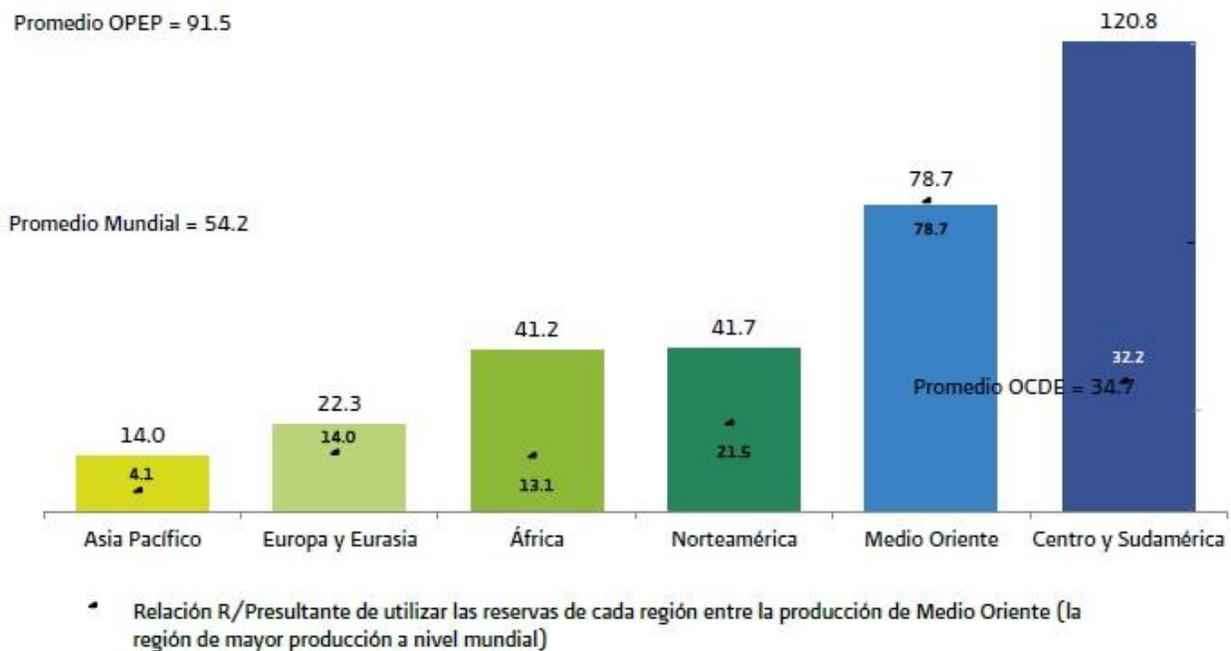


Figura 1.2 Relación reserva probada-producción por región 2011 (Martínez, 2012).

1.1.3 Problemas de contaminación ambiental.

El cambio climático global, provocado por la implacable acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre, está ya afectando a ecosistemas y provocando unas 150 000 muertes adicionales cada año. Un calentamiento global medio de 2°C es una amenaza para millones de personas que conlleva un riesgo creciente de hambre, malaria, inundaciones y sequías. El principal gas de efecto

invernadero es el dióxido de carbono (CO_2) producido por el uso de combustibles fósiles para energía y transporte.

1.1.3.1 El Efecto Invernadero.

Se denomina efecto invernadero al fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que la superficie planetaria emite por haber sido calentada por la radiación solar. Este fenómeno evita que la energía recibida constantemente vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero.

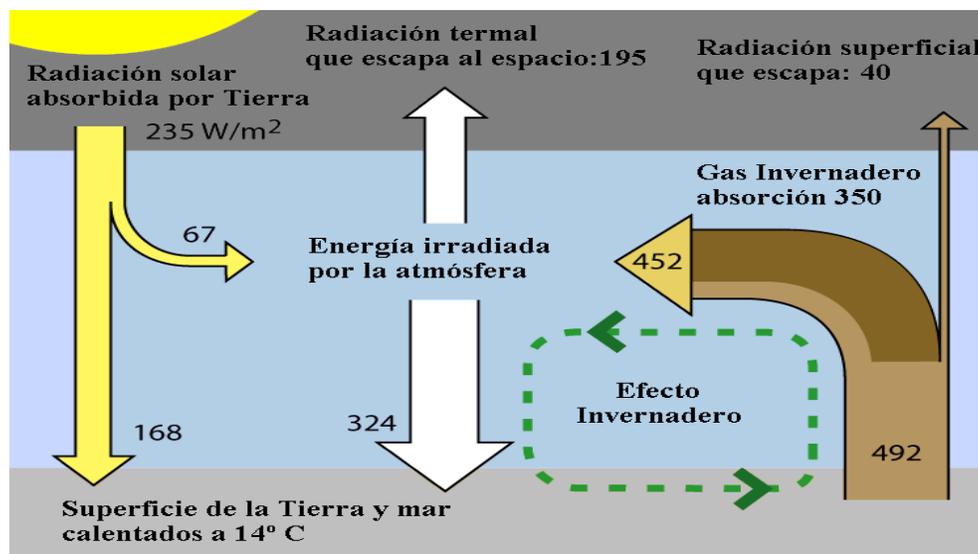


Figura 1.4 Esquema del efecto invernadero mostrando los flujos de energía entre el espacio, la atmósfera y superficie de la tierra. (Wikipedia, Calentamiento global, 2013)

La actividad humana a partir de la Revolución Industrial, ha incrementado la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera, dando lugar a un aumento del CO_2 , el metano, el ozono troposférico, los CFC y el óxido nitroso. Las concentraciones de CO_2 y metano han aumentado en un 36% y 148% respectivamente desde 1750. Estos niveles son mucho más altos que en cualquier momento durante los últimos 800 000 años, el período para el que existen datos fiables se ha extraído de muestras de hielo. La quema de combustibles fósiles ha producido más de las tres cuartas partes del aumento de CO_2 atribuido a la actividad humana en los últimos 20 años. El resto de

este aumento se debe principalmente a cambios en el uso de la tierra, en particular la deforestación.

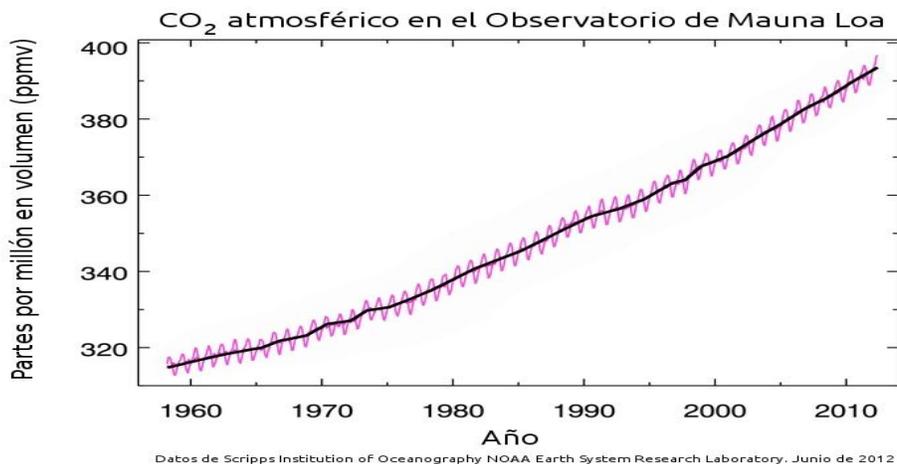


Figura 1.4 El aumento del dióxido de carbono atmosférico (CO₂) desde 1958 hasta 2008. “La Curva de Keeling” (Wikipedia, Calentamiento global, 2013)

1.1.3.2 Calentamiento Global.

El calentamiento global es un término utilizado para referirse al fenómeno del aumento de la temperatura media global, de la atmósfera terrestre y de los océanos, que posiblemente alcanzó el nivel de calentamiento de la época medieval a mediados del siglo XX.

El principal efecto que causa el calentamiento global es el efecto invernadero, fenómeno que se refiere a la absorción por ciertos gases atmosféricos—principalmente H₂O, seguido por CO₂ y O₃—de parte de la energía que el suelo emite, como consecuencia de haber sido calentado por la radiación solar. El efecto invernadero natural que estabiliza el clima de la Tierra no es cuestión que se incluya en el debate sobre el calentamiento global. Sin este efecto invernadero natural las temperaturas caerían aproximadamente en unos 30 °C; con tal cambio, los océanos podrían congelarse y la vida, tal como la conocemos, sería imposible. Para que este efecto se produzca, son necesarios estos gases de efecto invernadero, pero en proporciones adecuadas. Lo que preocupa a los climatólogos es que una elevación de esa proporción producirá un aumento de la temperatura debido al calor atrapado en la baja

atmósfera. En el último reporte con proyecciones de modelos climáticos presentados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), indican que es probable que la temperatura global de la superficie, aumente entre 1,1 a 6,4 °C (2,0 a 11,5 °F) durante el siglo XXI.

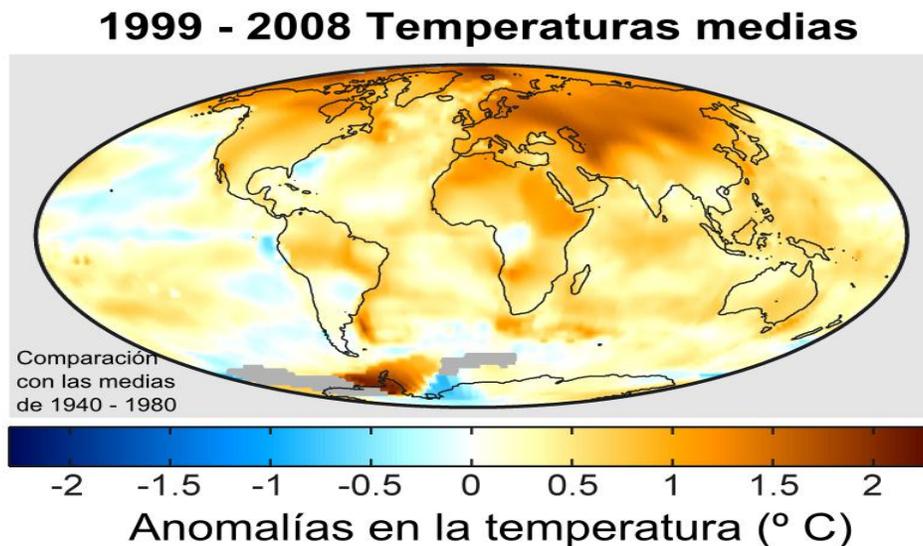


Figura 1.5 Variación de la temperatura global durante 1999 – 2008. (Wikipedia, Calentamiento global, 2013)

1.1.3.3 Modelo Climáticos.

Un modelo climático es una representación computarizada de los cinco componentes del sistema climático: Atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, superficie terrestre y la biosfera. Estos modelos se basan en principios físicos como la dinámica de fluidos, la termodinámica y la transferencia de radiación. No puede haber componentes que representen el movimiento del aire, la temperatura, las nubes, y otras propiedades de la atmósfera, la temperatura del océano, el contenido de sal, y etc.

Aunque los investigadores intentan incluir tantos procesos como sea posible, la simplificación del sistema climático real es inevitable debido a las limitaciones de potencia de los ordenadores disponibles y limitaciones en el conocimiento del sistema

climático. Los resultados de los modelos también pueden variar debido a las diferentes entradas de gases de efecto invernadero y la sensibilidad del modelo climático.

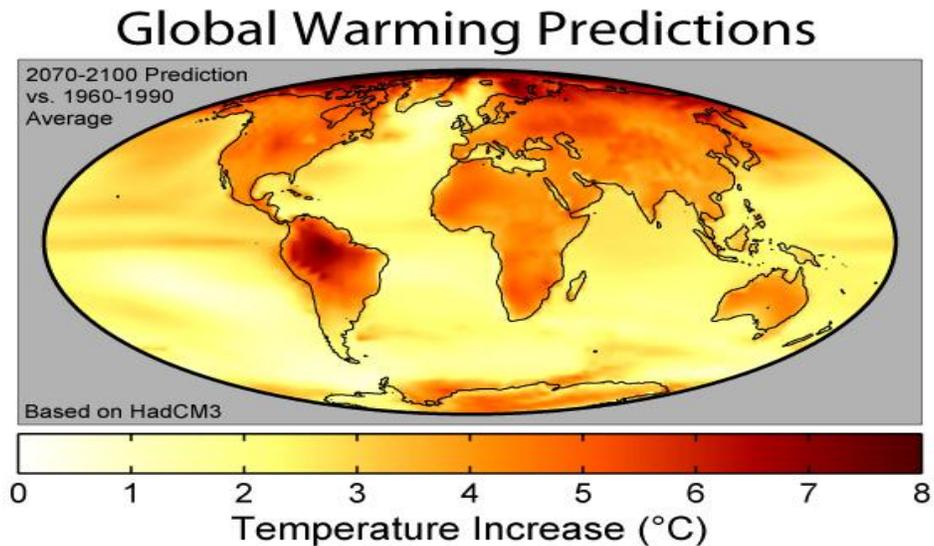


Figura 1.6 Predicción de la distribución geográfica de calentamiento de la superficie durante el siglo XXI. (Wikipedia, Calentamiento global, 2013)

Aunque este modelo es bastante limitado en cuanto los componentes que no están incluidos, se pudiera decir que el incremento de la temperatura global de la tierra está por encima de los 3 °C lo cual provocará grandes cambios que puede afectar la vida humana en los próximos 50 años. Por lo tanto, hay una gran necesidad de tomar medidas urgentes e inmediatas para detener el calentamiento global.

1.2 Uso de fuentes renovables de energía.

Energía renovable es la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se cuentan la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, solar y la biomasa.

Un concepto similar, pero no idéntico es del de las energías alternativas: una energía alternativa, o más precisamente una fuente de energía alternativa es aquella que puede

suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de "*crisis energética*" aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía: éstas serían las energías alternativas.

Por otra parte, el empleo de las fuentes de energía actuales tales como el petróleo, gas natural o carbón hacen que se produzcan problemas como; la progresiva contaminación, o el aumento de los gases invernadero. Por lo tanto, la producción de energías limpias, alternativas y renovables no es por tanto una cultura o un intento de mejorar el medio ambiente, sino una necesidad para el ser humano.

1.2.1 Energía Eólica.

La energía eólica es la energía obtenida de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire. Se obtiene a través de turbinas eólicas que son las que convierten la energía cinética del viento en electricidad por medio de aspas o hélices que hacen girar un eje central conectado, a través de una serie engranajes a un generador eléctrico.

La energía eólica presenta diversas ventajas, entre las cuales está la de no depender de combustible alguno para operar, sus emisiones casi nulas, y el hecho de ser una tecnología muy desarrollada y probada. También presenta un coste bajo de mantenimiento y explotación y requiere de relativamente poco espacio para ser instalada (en comparación con otras energías más extensivas, como la solar fotovoltaica o termoeléctrica).

El gran beneficio medioambiental que reporta el aprovechamiento del viento para la generación de energía eléctrica viene dado, en primer lugar, por los niveles de

emisiones gaseosas evitados, en comparación con los producidos en centrales térmicas. En definitiva, contribuye a la estabilidad climática del planeta. Un desarrollo importante de la energía eléctrica de origen eólico puede ser, por tanto, una de las medidas más eficaces para evitar el efecto invernadero ya que, a nivel mundial, se considera que el sector eléctrico es responsable del 29% de las emisiones de CO₂ del planeta.

Entre sus problemas, se puede destacar su elevado coste (si bien este problema se está solucionando poco a poco con la evolución tecnológica y la aparición de fuertes economías de escala debido a la generalización de su producción). La energía eólica también tiene un elevado impacto visual y sonoro, y un discutido impacto medioambiental (como por ejemplo el desplazamiento de los recorridos de aves migratorias). Por último, el problema quizá más importante de la energía eólica es su difícil gestión dentro de un sistema eléctrico. La energía eólica es una energía poco constante, dependiente de vientos a menudo muy variables, de manera que no se puede depender de ella para generar electricidad en momentos de alta demanda eléctrica. ([Wikipedia, Energía Renovable, 2013](#))

1.2.2 Energía Hidroeléctrica.

Esta energía es una energía limpia, renovable, e inagotable. La energía hidroeléctrica se aprovecha en las centrales hidroeléctricas. En las centrales hidroeléctricas se genera la electricidad mediante la energía cinética y potencial del agua, que al caer y mover la turbina, mueve un generador eléctrico.

La energía hidroeléctrica puede generar un impacto ambiental si no está bien adaptada al río en el cual se construye. Una central hidroeléctrica puede tener un gran impacto ambiental produciendo una alteración en el ambiente de un río y afectando la fauna y flora de una zona.



Figura 1.3 Central Hidroeléctrica. (Wikipedia, Energía Renovable, 2013)

1.2.3 Energía Geotérmica.

La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de la tierra.

Parte del calor interno de la tierra (5 000 °C) llega a la corteza terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición y por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar.

El calor del interior de la tierra se debe a varios factores, entre los que destacan el gradiente geotérmico y el calor radiogénico.

1.2.4 Energía Solar.

La energía solar es una fuente de vida y origen de la mayoría de las demás formas de energía en la Tierra. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica o energía eléctrica utilizando paneles solares.

Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica en edificios. Así, se puede dar lugar a sistemas de generación distribuida en los que se eliminen casi por completo las pérdidas relacionadas con el transporte que en la actualidad suponen aproximadamente el 40% del total y la dependencia energética.



Figura 1.4 Paneles fotovoltaicos convierten directamente la energía luminosa en energía eléctrica. (Wikipedia, Energía Renovable, 2013)

1.2.5 Biomasa.

La formación de biomasa a partir de la energía solar se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis vegetal que a su vez es desencadenante de la cadena biológica. Mediante la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros seres vivos. La biomasa mediante estos procesos almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, liberando de nuevo el dióxido de carbono almacenado.

La biomasa es el tipo de bioenergía que más ha sido utilizado como combustible a lo largo de toda la historia de la humanidad. Otra fuente muy utilizada a lo largo de la historia es el estiércol y los desechos de las sociedades humanas como la basura en su componente orgánica. En la actualidad, la biomasa tradicional mantiene su importancia, ya que en todo el mundo dependen de ella. La bioenergía: biomasa, biodiesel, etanol y biogás producidos bajo criterios de sustentabilidad pueden ofrecer importantes cantidades de energía renovable con emisiones de cambio climático y especialmente mejorar la calidad de vida y acceso a la electricidad en sectores rurales.

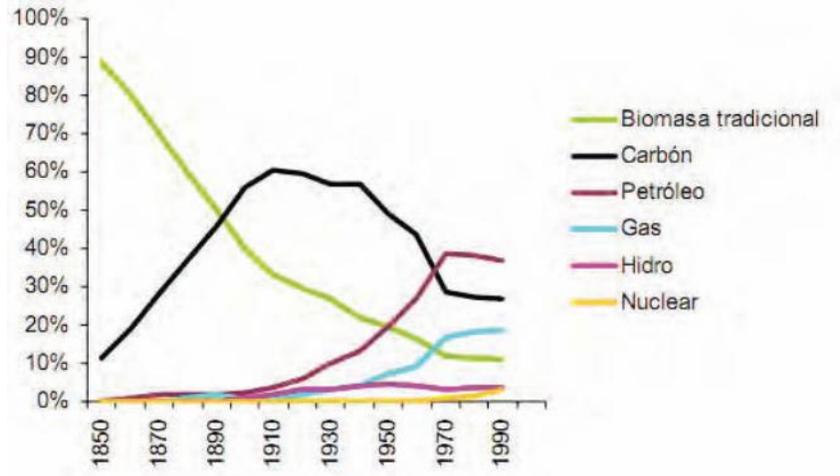


Figura 1.5 Evolución de las fuentes de energía primaria a nivel mundial (%) 1850-2000.
(Paneque, 2011)

1.3 Eficiencia Energética, Oportunidades y Desafíos.

Hay un gran número de oportunidades para mejorar la eficiencia energética de los vehículos, edificios, hogares y equipos industriales, reduciendo así el consumo de energía. Desde los motores de los automóviles que consuman menos combustible, mejor aislamiento de los edificios y hogares, y sistemas más eficientes en la fabricación de equipos y producción son sólo algunas de las posibilidades. Si todas las oportunidades de eficiencia energética se desarrollaran, el crecimiento anual de la demanda mundial de electricidad entre 2005 y 2030 se reduciría de 2,7% por año. En la Figura 1.6, se observa el potencial de reducción al aplicar un aumento de eficiencia en la demanda eléctrica y demanda de combustibles fósiles, con un potencial de 35% de reducción al 2030.

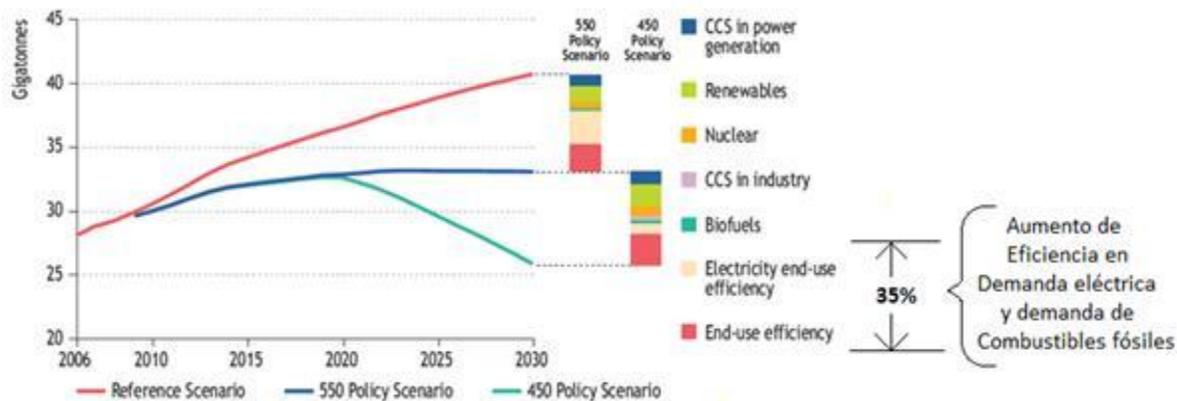


Figura 1.6 Escenario de Mitigación - Supone Reducciones en la Trayectoria de Estabilización de los GEI. (Universidad Católica de Chile, 2010)

La eficiencia energética es considerada como un medio clave para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y también considerada como medio para lograr otros objetivos de políticas energéticas (reducción de la dependencia de las fuentes fósiles), pero el comportamiento de los mercados y las respuestas políticas han generado debates económicos. Como por ejemplo conceptos económicos subyacentes en la toma de decisiones de los consumidores sobre productos y servicios de eficiencia energética.

1.3.1 Oportunidades.

Los mercados de la energía y los precios del mercado influyen en las decisiones de los consumidores, con respecto a la cantidad de energía que consume y si debe invertir en productos y equipos más eficientes energéticamente. Un aumento de los precios de la energía se traducirá en un ahorro de energía en el corto plazo, sin embargo, los cambios a corto plazo en la eficiencia energética tienden a ser limitados debido a la larga vida útil y baja rotación de los aparatos que utilizan energía y bienes de capital. Sin embargo, si un aumento de precios de la energía es persistente, también es más probable que afecte de manera significativa la adopción de eficiencia energética, ya que los consumidores tenderán a sustituir antiguos e ineficientes bienes de capital, y las empresas tendrán el tiempo necesario para desarrollar nuevos productos y procesos más eficientes.

Cuando se desarrolla un mercado de Eficiencia Energética es claro que incluye rendimientos positivos sobre la inversión, así como importantes beneficios colaterales, que incluyen el crecimiento económico, la creación de empleo y usualmente mejoras sobre la producción.

A pesar de las mejoras en la eficiencia energética en las naciones desarrolladas, aún queda un gran potencial de ahorro de energía en todos los sectores. Por ejemplo en el sector industrial la aplicación de tecnologías probadas y mejores prácticas a escala global podría ahorrar entre 25 y 37 EJ por año, lo que representa entre 18% y 26% del consumo actual de energía primaria en la industria. El ahorro de emisiones de CO₂ asociadas es de 1,9 Gt de CO₂ a 3,2 Gt de CO₂ al año, donde el mayor potencial de ahorro se puede encontrar en el hierro - acero, el cemento y los sectores químico - petroquímico.

La tasa de mejora en eficiencia energética es necesario aumentarla sustancialmente para lograr un futuro energético más seguro y sustentable. Hay indicadores de que el índice de mejora de la eficiencia energética ha aumentado ligeramente en los últimos años, como consecuencia de las numerosas políticas de países desarrollados. En general los gobiernos deben aprender de las mejores prácticas de los demás y actuar para desarrollar y aplicar la mezcla de políticas necesarias para generar mercado y regular las proyecciones de crecimiento con una mejora en la intensidad energética (incluyendo normas estrictas y estándares).

1.3.2 Desafíos.

El tema común en las deficiencias del mercado de eficiencia energética es que los precios de la energía no reflejan el verdadero costo marginal social del consumo de energía, ya sea a través de las externalidades ambientales, los costos medios, o la seguridad nacional.

Las tecnologías y servicios de Eficiencia Energética (EE), son particularmente complejas y difíciles de desarrollar desde su implementación, debido al hecho de que demostrar los ahorros de energía de estas tecnologías de Eficiencia Energética no es fácil, donde la tasa de ejecución de los proyectos de EE, medidas de mejora de EE y

las mejores prácticas, pese a su enorme potencial deben ser impulsadas por políticas públicas para romper las barreras existentes.

Las externalidades ambientales asociadas con la producción y el consumo de combustibles fósiles generan grandes emisiones de GEI y otros contaminantes que resultan en costos no ponderados sobre la salud y el medio ambiente, es decir, que no son internalizados por el consumidor de energía. En ausencia de la política, una externalidad ambiental conduce a un uso excesivo de energía en relación con la falta de inversión óptima social, y por lo tanto, una disminución en la eficiencia energética. En la medida en que los precios de la energía no internalicen estas externalidades (que varían según el tipo de contaminación), el mercado va a incentivar un nivel de eficiencia energética que es demasiado bajo. Una respuesta política puede ser determinar económicamente los precios a las emisiones, lo que indirectamente estimula una mayor eficiencia energética.

1.3.3 Tendencias en el sector industrial.

El sector industrial abarca la fabricación de productos terminados y sub-productos, la minería y la extracción de materias primas y construcción.

El uso final de energía en la industria, incluidas las materias primas en el sector químico y petroquímico, fue de 116 EJ en 2005. Las emisiones de CO₂ asociadas, incluidas las emisiones indirectas por la utilización de la electricidad, fueron de 9,9 Gt de CO₂. Gran parte del crecimiento de la demanda industrial de energía a partir de 1990 ha sido impulsada por los países no-OECD, especialmente China.

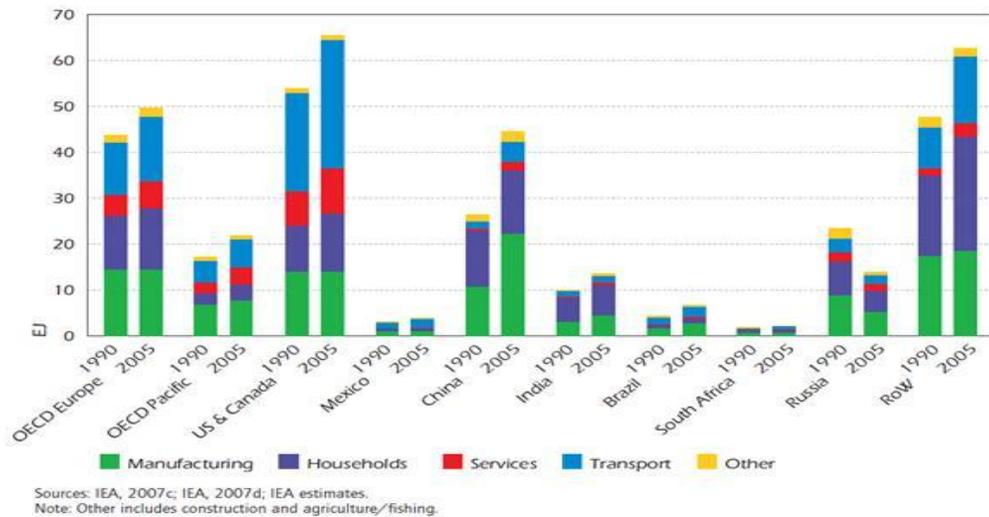


Figura 1.8 Consumo Final de Energía. (Universidad Católica de Chile, 2010)

La mayoría de los sectores industriales son intensivos en energía y es complejo desarrollar mejoras de eficiencia energética ya que implica varios procesos y una amplia variedad de productos. Es necesario generar indicadores para dar una visión completa del estado de la eficiencia energética y sus tendencias en el sector industrial.

Indicadores basados en fuentes físicas a menudo son preferibles a los que se basan en medidas económicas de la producción. Estos indicadores tienen la ventaja de que no se ven afectados por las fluctuaciones de los precios, pueden estar directamente relacionados con los procesos individuales y permiten un análisis bien fundado de las oportunidades de mejora.

En general ha habido mejoras sustanciales en la eficiencia energética en el sector industrial, esto se debe a la introducción de nuevas tecnologías más eficientes.

En promedio, el Japón y la República de Corea tienen el más alto nivel de eficiencia energética industrial, seguido por Europa y América del Norte. Los niveles de eficiencia energética en los países en desarrollo y en transición muestran un panorama mixto, en general, los niveles de eficiencia son más bajos que en los países de la OECD.

Existe un gran potencial para las mejoras en eficiencia energética, simplemente al aplicar tecnologías validadas y al comprometerse con mejores prácticas a escala

global, esto podría ahorrar entre 25 y 37 EJ de energía al año, que representa el 18% al 26% del consumo actual de energía primaria en la industria.

En general existen oportunidades de mejoras en la industria, algunas de ellas se detallan a continuación:

- Varias industrias utilizan vapor y electricidad para su uso posterior dentro de sus procesos. Cuando la electricidad se genera, el calor que se produce como un subproducto, este puede ser capturado y utilizado para procesos industriales, calefacción u otros fines industriales. La generación de electricidad convencional tiene una eficiencia aproximada de un 30%, mientras que la cogeneración de calor y electricidad convierte hasta un 90% del combustible en energía utilizable.

- Las calderas y hornos de última generación pueden operar a temperaturas más altas, quemando menos combustible. Estas tecnologías son más eficientes y producen menos contaminantes.

- Más del 45% del combustible utilizado por los fabricantes de EE.UU. se quema para producir vapor. Introduciendo mejoras en los procesos se puede reducir el consumo de energía hasta en un 20%, mediante la incorporación de aislantes, sistemas de retornos más eficientes, contención de fugas de vapor, y el mantenimiento óptimo de las trampas de vapor.

- Los motores eléctricos que generalmente se utilizan a velocidad variable, usando "variadores de frecuencia" se consigue un ahorro de energía que va desde el 3% al 60%, dependiendo de cómo se utiliza el motor y las horas de uso de este.

- La industria utiliza un gran número de bombas y compresores de todas las formas y tamaños, en una amplia variedad de aplicaciones. La eficiencia de las bombas y compresores depende de muchos factores, pero se pueden hacer mejoras mediante la implementación control óptimo de los procesos y al incorporar mejores prácticas de mantenimiento. Según el Departamento de Energía de EE.UU., la optimización de sistemas de aire comprimido mediante la instalación de los variadores de velocidad, así

como el mantenimiento preventivo para detectar y corregir fugas de aire, puede mejorar la eficiencia de energía del 20% al 50%.

1.4 Gestión Energética.

El concepto de gestión energética se puede agrupar en dos visiones desde el punto de vista macro. La primera supone que es el mercado el instrumento mediante el cual se logra la gestión óptima y la segunda supone que es el estado como ente planificador que garantiza la optimización de los recursos energéticos. Desde el punto de vista micro (empresa) la gestión energética se traduce en un programa de optimización de energía, con el cual se definen estrategias y se toman acciones para disminuir los consumos de energía, sin sacrificar calidad, buscando los niveles de máxima productividad.

Incluso con buenos ingresos, las pérdidas energéticas aún predominan en todas las organizaciones. Entre ellos, se identifica:

- Un 400% de variación en la energía por la edad, tecnología, horas, el tamaño, el clima.(no consumo de energía eficientemente)
- La eficiencia energética en edificaciones solo se incrementó un 30% desde 1980.
- Desafortunadamente, el aprovechamiento de las pérdidas energéticas ha sido limitado por falta de un enfoque en gestión energética. Frecuentemente la gestión se describe como:
 1. Descentralizada.
 2. Pobremente coordinada.
 3. Enfocada en el pago de las facturas.
 4. Reactiva.
 5. Subvalorada.
 6. Consideración sobre el capital intensivamente.

De acuerdo con la definición de la gestión energética, se puede dividir entre tres áreas de enfoques. En el siguiente diagrama (Figura 1.9) se muestra la división por las áreas.



Figura 1.9 Las Áreas de enfoque de Gestión Energética. (Dias, 2013)

1.4.1 Las tendencias globales para Gestión de Energía.

Organizaciones que han utilizado las estrategias de gestión de energía eficaces y los programas exitosos de energía han tenido los resultados diferentes. Se consideran los siguientes resultados obtenidos de algunas compañías en diferentes países:

- La Compañía Ford de motor tiene ahora encima de \$75 millones a través de la gestión de energía eficaz.
- La compañía USAA Real Estate ha realizado 5% de ahorro de energía anual y aumentó el valor del edificio California en \$1.5 millones por usar las técnicas de eficiencia energética.
- Eastman Kodak ahorró más de \$8.6 millones en el costo de operación en 2002 por sus esfuerzos de gestión de energía.
- Hines estima más de \$13 millones de diferencias en los costos de operacionales entre su energía, los edificios eficaces y los edificios ineficaces.
- La escuela pública Fairfax Condado estima un ahorro de energía anual de \$4.5 millones por la mejora de eficacia de energía.

Observando el ahorro de energía en los países desarrollados, se puede identificar algunas causas por no tener mayor eficiencia energética en el sector industrial. El negocio de la empresa puede ser que no sea eficiente energéticamente. Los ingenieros que trabajan sobre la energía generalmente no llegan a ser funcionarios del ejecutivo

principal o no tienen nivel de entender las oportunidades de uso de eficiencia energética. Además, algunas empresas realizan sus presupuestos anuales separados en la energía y costos de mantenimiento. Puede ser la falta de experiencias en los indicadores de desempeño energético para evaluar las mejoras de las actuaciones o los datos están muy limitados en el uso de energía en los sistemas. Algunas tienen muy pocas habilidades técnicas para muchos campos de la energía.

Analizando lo que se hace en gestión de energía, es importante conocer cómo se hace y la manera de aplicar la gestión de energía a una empresa. El sistema de gestión de energía es un método que propone la metodología para aplicar la gestión de energía a una determinada empresa. (Dias, 2013)

1.5 Sistemas de gestión de la energía.

La Gestión Empresarial incluye todas las actividades de la función gerencial que determinan la política, los objetivos y las responsabilidades de la organización; actividades que se ponen en práctica a través de: la planificación, el control, el aseguramiento y el mejoramiento del sistema de la organización.

La Gestión Energética o Administración de Energía, como subsistema de la gestión empresarial abarca, en particular, las actividades de administración y aseguramiento de la función gerencial que le confieren a la entidad la aptitud para satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas.

Un sistema de gestión energética se compone de: la estructura organizacional, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para su implementación.

Dentro de los (SGEn) normalizados se destacan el de la Norma ANSI/MSE 2000 y el de la Norma EN 16001, los cuales sentaron las bases para el propuesto en la Norma Internacional ISO 50001. Por su parte, dentro de los (SGEn) no normalizados sobresalen el *Guidelines for Energy Management de Energy Star* y la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE) del Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA) de la Universidad de Cienfuegos.

1.5.1 Norma ANSI/MSE 2000.

Esta norma estadounidense, publicada en 2000, describe los elementos necesarios para establecer y mantener un sistema de gestión de la energía de aplicabilidad a cualquier organización. Es considerada como el primer sistema de gestión de la energía estandarizado y de carácter nacional, del mundo.

La Norma fue revisada en 2005 y en 2008 para darle una mejor organización que reflejara más acertadamente el enfoque por procesos del modelo de gestión Planear-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA), e incluirle nuevos requerimientos. Los elementos fundamentales de la versión vigente son:

1. Sistema de gestión para la energía.
2. Responsabilidad de la dirección.
3. Planificación de la gestión energética.
 - a. Gestión de la información energética.
 - b. Perfil energético.
 - Seguimiento de datos energéticos.
 - Diagnóstico energético.
 - Usos significativos de la energía.
 - Indicadores clave de desempeño.
 - Información externa.
 - c. Requisitos legales y otros requisitos.
 - d. Objetivos, metas y planeación de proyectos.
4. Implementación y operación.
5. Verificación y evaluación.
6. Revisión por la dirección.

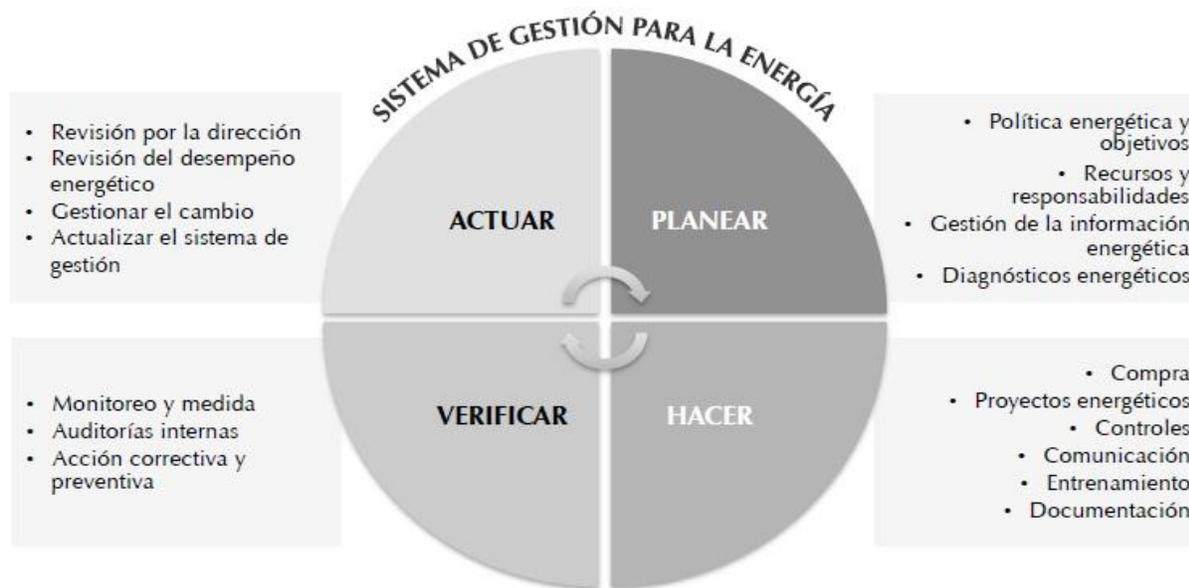


Figura 1.10 Proceso de mejora continua de la ANSI/MSE 2000:2008. (Campo, 2012)

1.5.1.1 Herramientas de apoyo para la planificación.

En la ANSI/MSE 2000:2008, la planificación de la gestión energética tiene como fin el establecimiento de objetivos, metas y “proyectos energéticos” a partir de la información obtenida en el “perfil energético”, los cuales deben estar en correspondencia con la política energética y los planes estratégicos de la organización.

La planificación se centra en el desarrollo y mantenimiento de un “perfil energético”. Este perfil se obtiene con base en datos energéticos, financieros y de producción, y en los resultados de los diagnósticos energéticos de equipos, sistemas y procesos. A partir de dichos diagnósticos, se identifican usos significativos de la energía y oportunidades para desarrollar los “proyectos energéticos”, al tiempo que se establecen indicadores clave de desempeño para medir la efectividad del sistema de gestión.

El perfil energético inicial se considera en sí mismo como una línea base a partir de la cual se miden los cambios en el desempeño energético. Para el desarrollo de esta fase, la Norma recomienda algunas herramientas que ayudan en el cumplimiento de los requisitos. (Véase Anexo 1)

Aunque la misma Norma recomienda estas herramientas, no hace ninguna referencia a la forma como ellas pueden aportar al cumplimiento de los objetivos de la fase de planificación. (Campo, 2012)

1.5.2 Norma EN 16001.

En Europa, Dinamarca fue el primer país en iniciar la normalización de los sistemas de gestión de la energía. La publicación de su norma nacional en 2001, fue seguida por la de otros países de la región. Así pues, en 2003 una norma sueca fue anunciada, una irlandesa en 2005 y una española en 2007.

Estas normas nacionales se centraban en asegurar que la gestión de la energía se integrara a la estructura organizacional y de esta manera, las organizaciones pudieran ahorrar energía, reducir costos, mejorar el desempeño energético y de negocio, y reducir sus emisiones contaminantes. Y al igual que la ANSI/MSE 2000, estaban estructuradas y basadas en las Normas de gestión ISO 9001 e ISO 14001.

Su éxito y masiva aceptación, condujo en 2006 a la formación de un grupo de trabajo dentro del Comité Europeo para la Normalización (CEN), para tratar este tema. Para el año 2009, se logró la publicación de la Norma Europea EN 16001, la cual sustituyó a las demás normas nacionales.

La Norma EN 16001, al igual que las que reemplazó, tiene la misma estructura de la Norma ISO 14001, tal como se puede ver en la Figura 1.11, y con ello se buscaba una mejor compatibilidad, debido a que la Norma ambiental había alcanzado gran aceptación a nivel regional. (Campo, 2012)

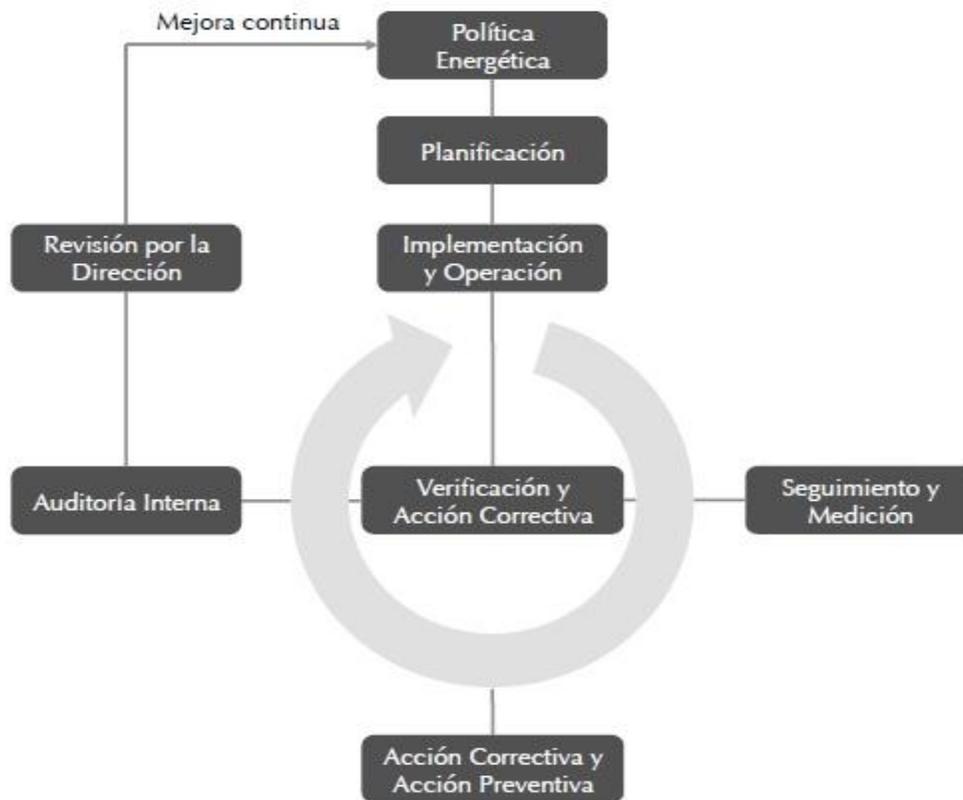


Figura 1.11 Modelo del SGEEn de la Norma EN 16001. (Campo, 2012)

Sus secciones fundamentales, acordes al modelo de gestión PHVA, son:

1. Requisitos generales.
2. Política energética.
3. Planificación.
 - a. Identificación y evaluación de los aspectos energéticos.
 - b. Obligaciones legales y otros requisitos.
 - c. Objetivos, metas y programas energéticos.
4. Implementación y operación.
5. Verificación.
6. Revisión por la dirección.

1.5.2.1 Herramientas de apoyo para la planificación.

En la EN 16001, la planificación se basa en la identificación y evaluación de los “aspectos energéticos” (elemento de las actividades, bienes o servicios de la organización que pueden afectar al uso de la energía o al consumo energético), y en el establecimiento de objetivos, metas y “programas energéticos”.

La actividad medular de la planificación es la identificación y evaluación de dichos aspectos energéticos. Ello incluye el análisis, tanto del consumo energético pasado y presente, como de los factores que lo influyen; la identificación de equipos y procesos que tienen un consumo energético significativo; la estimación del consumo energético esperado; y la identificación y priorización de oportunidades de mejora.

En su guía de implementación, la Norma sigue un cúmulo de herramientas para el proceso de planificación, las cuales se muestran en Anexo 2.

A pesar de que la Norma tiene una guía de implementación y una guía específica para los requisitos de carácter técnico, en donde se listan ampliamente herramientas para el cumplimiento de cada uno de sus cláusulas, no expone la idoneidad de éstas para alcanzar los objetivos de los mismos. (Campo, 2012)

1.5.3 Guidelines for Energy Management de Energy Star.

Este modelo establece siete principios para el mejoramiento del desempeño energético y financiero de una organización. Fue desarrollado dentro del programa voluntario ENERGY STAR de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos, a partir de buenas prácticas, identificadas gracias al trabajo conjunto con varias compañías líderes de este país.

Los principios se establecen a través de siete pasos:

Paso 1: Establecer compromiso.

Paso 2: Evaluar el desempeño.

- Recolección y gestión de datos.
- Línea base y benchmarking.
- Análisis y evaluación.

Paso 3: Establecer objetivos.

Paso 4: Crear plan de acción.

Paso 5: Implementar plan de acción.

Paso 6: Evaluar progreso.

Paso 7: Reconocer resultados.

1.5.3.1 Herramientas de apoyo para la planificación.

Como se puede apreciar en la Figura 1.12, la planificación se realiza en los pasos 2, 3 y 4. “Evaluar el desempeño” consiste en un análisis del uso de la energía en todas las instalaciones y procesos de la organización, para establecer una línea base que permita medir los resultados futuros en cuanto a eficiencia energética e identificar oportunidades para mejorar el desempeño energético. Mientras que, “Establecer objetivos”, se basa en la determinación de los objetivos que direccionen las actividades de gestión energética y promuevan la mejora continua. Por su parte, “Crear plan de acción”, se fundamenta en el aseguramiento de un proceso sistemático para implementar las medidas de desempeño energético. (Campo, 2012)

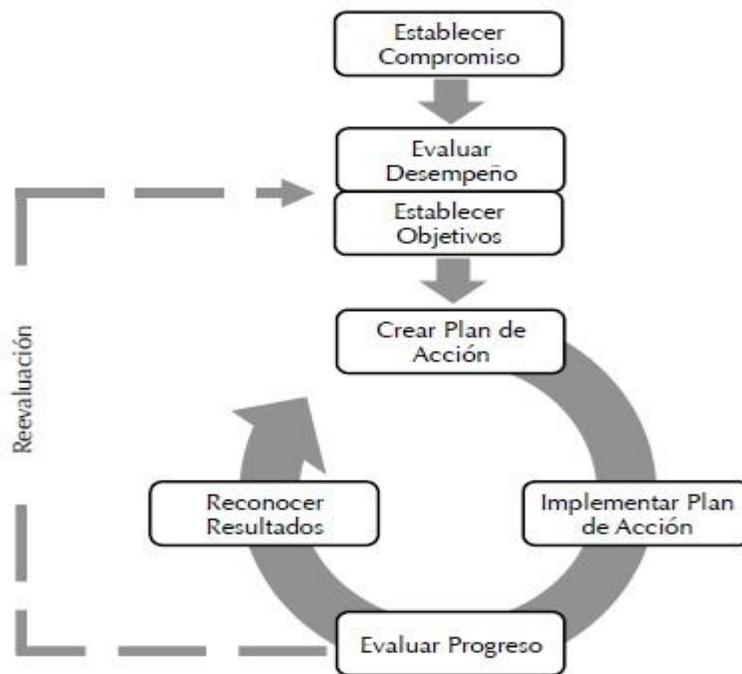


Figura 1.12 Modelo de Energy Star. (Campo, 2012)

En lo que respecta a herramientas, Energy Star propone las que se presentan en el Anexo 3. Algunas de ellas únicas, como el Portfolio Manager y el Energy Performance Indicator. La primera se puede utilizar para realizar seguimiento en el tiempo al uso de la energía en edificaciones, y la última, para monitorear patrones anuales de uso energético en industrias específicas y para realizar benchmarks sectoriales.

1.5.4 Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE) del CEEMA.

La TGTEE consiste en un paquete de procedimientos, herramientas técnico-organizativas y software especializado, que aplicado de forma continua y con la filosofía de la gestión total de la calidad, permite establecer nuevos hábitos de dirección, control, diagnóstico y uso de la energía, dirigidos al aprovechamiento de todas las oportunidades de ahorro, conservación y reducción de los costos energéticos en una empresa. (Yanes, 2006)



Figura 1.13 Modelo de gestión de la TGTEE. (Yanes, 2006)

1. Análisis preliminar de los consumos energéticos.

El análisis preliminar abarca la información de las fuentes y consumos de portadores energéticos del proceso productivo, distribución general de costos, indicadores globales de eficiencia y productividad, etc., y posibilita la conformación de la estrategia general para la implantación del sistema de gestión energética en la empresa.

2. Compromiso de la Alta Dirección.

Aunque en las actividades de la Gestión Energética todo el personal debe tomar parte de una forma u otra, resulta imprescindible para el éxito de estas actividades el compromiso de la dirección.

3. Diagnósticos energéticos y Socio-ambiental.

El diagnóstico o auditoría energética constituye la herramienta básica para saber cuánto, cómo, dónde y por qué se consume la energía dentro de la empresa, para establecer el grado de eficiencia en su utilización, para identificar los principales potenciales de ahorro energético y económico, y para definir los posibles proyectos de mejora de la eficiencia energética.

4. Diseño de un plan.

Para el diseño de un plan se debe tener en cuenta la identificación de soluciones, la evaluación técnico-económica, el establecimiento de escenarios, la clasificación de soluciones, la planificación de soluciones y metas, el diseño de sistemas de monitoreo y el diseño de programas de concientización, motivación y capacitación.

5. Organización y composición de equipos de mejora.

En este paso se definen estructuras necesarias, determinación de tipo, misión y funciones de los equipos, sistemas de retroalimentación, mecanismos de estimulación y las barreras y posibles alternativas.

6. Aplicación de acciones y medidas.

Corresponde la regulación de las normas y aplicación de las medidas técnico organizativas, aplicación de las medidas aprobadas, establecimiento de las herramientas de monitoreo, aplicación del programa de concientización, motivación, y por último, el entrenamiento.

7. Seguimiento y control.

En este paso se hace el monitoreo y registro de índices y factores, evaluación técnico económico y ambiental, identificación de causas de desviación estimado-real de las metas, selección e implantación de correcciones al sistema y divulgación de resultados.

1.6 Desarrollo de la Norma 50001.

Al darse cuenta de la importancia de la gestión de la energía, la International Standardization Organization (ISO) publicó ISO 50001, su primera edición el 15 de junio de 2011. A diferencia de las normas de sistemas de gestión de la energía que la anteceden, la ISO 50001 se centra en el concepto de desempeño energético, el cual amplía para incluir, además de la eficiencia energética, el uso y el consumo de la energía. Ello garantiza que todos los aspectos relacionados con la energía, sean tenidos en cuenta dentro del sistema de gestión y puedan ser controlados por la organización.

La Norma ISO 50001 incorpora el consenso de los expertos acerca del estado del arte nacional e Internacional, se brinda una calificación acreditada de los logros alcanzados en el desempeño energético y medio ambiental de la organización y a pesar del carácter voluntario de las normas internacionales, las autoridades gubernamentales locales pueden darle más fuerza reglamentaria o legislativa. La Norma ISO 50001 recoge todos aspectos y gracias a ello se espera que alcance un gran índice de aceptación mundial. A esto se suma el hecho de compartir muchos de los requisitos y principios de las Normas EN 16001 y ANSI/MSE 2000, e igualmente como ocurre en otras normas ISO de sistemas de gestión, como la 9001 y 14001, está basada en el ciclo de mejora continua PHVA (ver Figura 1.14). Estas características tributan a una fácil transición y compatibilidad con estos sistemas de gestión.

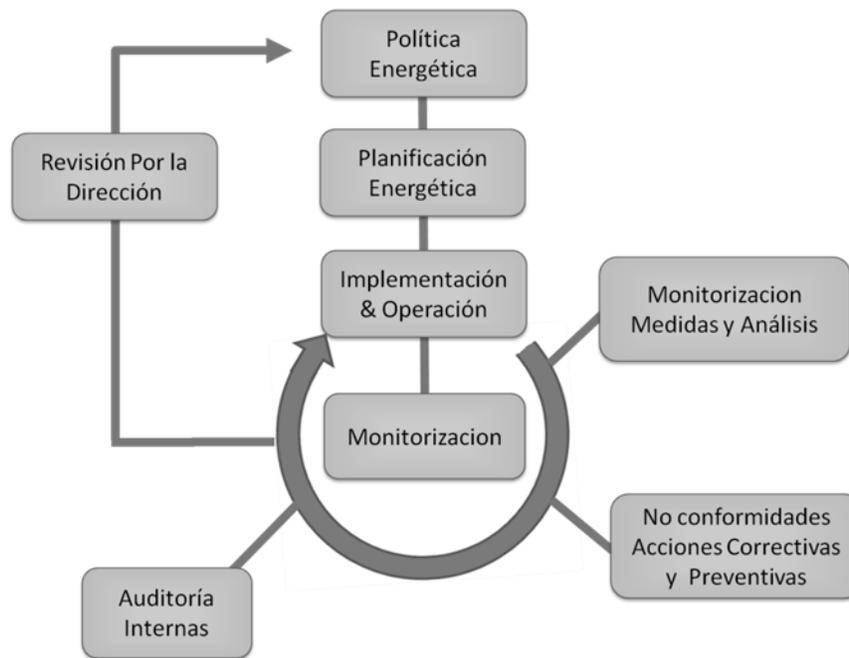


Figura 1.14 Modelo del sistema de gestión de la energía para la Norma.

La ISO 50001 considera todos los tipos de energía, incluyendo energía renovable, no renovable y alternativa. Requiere la identificación, priorización y registro de oportunidades para mejorar el desempeño energético, incluyendo, donde sea posible, fuentes energéticas potenciales, uso de energías renovables o alternativas.

1.7 La industria azucarera contemporánea.

El sector azucarero es sin lugar a dudas el más importante de la producción agroindustrial cubana a lo largo de estos siglos.

Ya a finales del siglo XVI se inicia en Cuba, la elaboración aunque de forma rudimentaria del caña de azúcar, teniendo su mayor extensión entre 1778 y 1782 posterior a la toma de La Habana por los ingleses y un grupo de medidas tomadas por el Rey Carlos III, lo que favoreció el comercio y la importación de mano de obra esclava.

En la década de 1840 se inicia en Cuba la Revolución Técnica en la producción azucarera, manifestándose en la aplicación de procesos físicos y químicos en la actividad industrial.

En 1902 comienza la penetración del capital inversionista norteamericano en la industria azucarera, que fue, ese año de 25 millones y que alcanzó en 1927 los 800 millones. Durante esta época fueron construidos 75 centrales de gran capacidad, fundamentalmente en la zona de Camagüey y Oriente. (INICA)

El azúcar se obtiene de la planta de caña por la reacción de fotosíntesis debiéndose separarse en el proceso de fabricación de otros componentes como pueden ser la fibra, las sales minerales, ácidos orgánicos e inorgánicos y otros, obteniéndose una sacarosa de alta pureza en forma de cristal.

El azúcar es un producto básico, esencial y necesario en la dieta alimenticia y constituye la materia prima para numerosas industrias, tales como confiterías, panaderías, bebidas no alcohólicas y alcohólicas.

La bioenergía puede clasificarse según su estado físico en: sólidos o biomasa, como la leña, los residuos forestales, el carbón vegetal, y los desechos agrícolas, como la paja o tortas residuales pero en este caso, el remanente queda en el bagazo residual durante el proceso extracción de jugo de la caña del proceso de producción de azúcar, lo cual es utilizado como combustible en las calderas, así como materia prima para la fabricación de tableros de bagazo, logrando subproductos de usos industriales como producción de electricidad por turbinas a vapor.

1.7.1 La Generación de Energía Eléctrica en el ingenio azucarero.

La industria azucarera es privilegiada ya que posee la posibilidad de obtener de la materia prima que procesa, el combustible necesario para su operación; el bagazo de caña, biomasa residual del proceso de extracción del jugo, la cual posee un elevado valor calórico y a su vez constituye un combustible renovable, así como los residuos agrícolas de la cosecha que constituyen una importante fuente de energía si se aprovechan con eficiencia.

El bagazo constituye una fuente renovable de energía y por su calor de combustión (para 50 % de humedad) 5,8 toneladas de bagazo equivalen a una tonelada de fuel-oíl. Hay que significar que la energía eléctrica que se genera a partir del bagazo como combustible es energía eléctrica que deja de generarse con fuel-oíl y en cierta medida

ayuda a disminuir importaciones, lograr que haya sobrante de bagazo implica que no haya que utilizar combustibles adicionales en las fábricas de azúcar, y que puedan utilizarse para otros fines como la producción de alimento animal, papel, tableros, etc. por lo que hay que hacer uso racional del mismo.

A esto hay que agregar que las nuevas tecnologías de cogeneración que se han desarrollado en el mundo son factibles de utilizar en la industria azucarera, logrando no solo autoabastecerse de energía eléctrica, sino también entregar excedentes a la red pública lo cual proporciona ventajas económicas y sociales.

1.7.2 Gestión energética en la industria del azúcar y la eficiencia energética.

Muchas industrias alimentadas con biomasa operan aisladas de las redes de suministro eléctrico. En otros casos, los sistemas solares, las turbinas hidráulicas y eólicas no son parte de un sistema integrado en el cual concurren varias fuentes energéticas. Cuando esto sucede, aún en instalaciones de pequeña y media capacidad, se pierden determinadas ventajas que no pueden ser ignoradas cuando se trata de alcanzar el mayor beneficio social y disfrutar la compatibilidad ambiental de las tecnologías renovables. Sincronizar es una oportunidad para reducir costos y operar competitivamente las fuentes energéticas renovables aun en las más exigentes condiciones.

En el artículo *“Uso eficiente de las fuentes renovables de energía y mejoramiento económico mediante la sincronización a la red”* hecho por el Dr. Marcos A. de Armas Teyra del Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA) de la Universidad de Cienfuegos se presentó un análisis donde se evaluó las medidas que contrarrestan estos factores de desaprobación a fin de alcanzar la mayor eficiencia y mejores resultados económicos en el empleo de estas fuentes, teniendo en consideración el proceso de interconexión de los sistemas eléctricos de los centrales azucareros a la red nacional en la provincia de Cienfuegos. Se analiza su repercusión en la economía y como caso de estudio particular se expone una pequeña fábrica alimentada con biomasa y los resultados alcanzados en este pequeño espacio geográfico de Cuba con tecnologías de limitado potencial energético. Como complemento se presenta un

análisis de costos que permite evaluar, para condiciones específicas, hasta cuánto puede invertirse en un proyecto energético con fuentes renovables.

Después de haber hecho dicho análisis se concluyó que para elevar la eficiencia y la efectividad de los sistemas de generación a partir de fuentes renovables es importante evaluar las posibilidades de sincronizar la instalación a las redes eléctricas existentes en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). La sincronización eléctrica de las plantas generadoras de los centrales azucareros al SEN aporta favorables beneficios al país, mejora las condiciones operativas de la industria azucarera y favorece la situación económica de los complejos azucareros. En condiciones de sincronización se pueden obtener aún mayores beneficios de las potencialidades renovables de una región. Las industrias cogeneradoras con biomasa, en particular las correspondientes a la industria azucarera cubana y las centrales hidroeléctricas de pequeña y mediana capacidad, deben operar sincronizadas al SEN. El costo del kWh en las empresas generadoras del país, las condiciones de mercado, inversión capital, tasa de interés, etc., junto al factor de carga y el período de explotación, son los ingredientes fundamentales que permiten determinar, según las expresiones propuestas, la viabilidad económica para la aplicación de las fuentes renovables de energía. (Teyra)

También, en Colombia se había apreciado el uso en la generación de energía térmica y eléctrica a partir de sistemas de cogeneración, utilizando combustibles renovables como el bagazo de caña y en menor proporción residuos de la cosecha de caña de azúcar.

El manejo controlado de los combustibles, la operación eficiente de equipos y la optimización de los procesos de vapor y energía, ha llevado a que el sector azucarero, en Colombia, mantenga controlados sus indicadores energéticos, sosteniéndose consumos de energía por unidad de producción inferiores a los niveles de los años anteriores.

La opción tecnológica de la cogeneración y la eficiencia energética han convertido a esta industria en un sector con un potencial importante en la oferta energética. El sector azucarero, en Colombia, dio inicio en 2005 a la producción de alcohol carburante

(etanol anhidro). Dicha producción obtenida con tecnología de punta, amigable con el medio ambiente, se caracteriza por la no-utilización de productos químicos para su deshidratación, dado que exige que el alcohol esté libre de agua para que se mezcle perfectamente con la gasolina. Asimismo, con esta tecnología se obtiene un menor consumo de agua y menor producción de residuos. En este contexto, es importante resaltar que es extremadamente urgente un cambio tecnológico en el mercado energético. El objetivo de reducir en 2°C la temperatura mundial, implica garantizar que un 50% de la energía se genere a partir de fuentes renovables y que se consuman menos combustibles fósiles antes del año 2050. En la industria azucarera es necesario tener implementado un (SGEn) para mejor aprovechamiento de sus potencialidades, incremento de la competitividad, etc. (Johan Martínez, 2012)

Conclusiones Parciales.

1. El agotamiento de los combustibles fósiles; el deterioro cada vez mayor del medio ambiente por el hombre; y las necesidades de las organizaciones de elevar su competitividad empresarial, exige la creación de sistemas de gestión energética, los cuales constituyen la base para la mejora del desempeño energético.
2. En estudios internacionales realizados, se observa el potencial de reducción al aplicar un aumento de eficiencia en la demanda eléctrica y demanda de combustibles fósiles, con un potencial de 35% de reducción al 2030.
3. Los sistemas de gestión de energía existente en el mundo y sus etapas para el ahorro posibilitan reducir el consumo de portadores energéticos y el impacto ambiental, ambos contribuyen al incremento de la competitividad empresarial. Al darse cuenta de la importancia de la gestión de la energía, se publicó ISO 50001, y a diferencia de las normas de sistemas de gestión de la energía que la anteceden, la ISO 50001 se centra en el concepto de desempeño energético, el cual amplía para incluir, además de la eficiencia energética, el uso y el consumo de la energía.

Capítulo 2. Las herramientas de la gestión energética y su uso en la Norma Cubana ISO 50001:2011.

2.1 Uso de las herramientas de la gestión de energía en la ISO 50001.

2.1.1 Definir la política energética.

La política energética son las intenciones de la dirección general de la empresa relacionada con su desempeño energético. La alta dirección conformada por las personas que controlan al más alto nivel de la organización son los responsables de definir la política energética en el centro y que esta sea apropiada para la naturaleza, escala e impacto del uso de la energía para la entidad.

Esta política debe incluir el compromiso de mejora continua en cuanto al nivel de desempeño, el apoyo para la compra de productos y servicios energéticamente eficientes y el diseño del proceso con mejores resultados medibles relacionados con la eficiencia energética y consumo de energía.

La política debe ser documentada, implantada, mantenida al día y comunicada a todo el personal de la empresa relacionada con ella, así como una completa disponibilidad para el público en general.

2.1.2 La planificación energética en la Norma ISO 50001.

En esta fase, la Norma determina las acciones para desarrollar los requisitos legales y otros requisitos, la revisión energética y establecer la línea de base, los indicadores de desempeño energético, los objetivos, las metas y los planes de acción necesarios para alcanzar los resultados esperados por la organización de acuerdo a las oportunidades de mejora y su política energética.

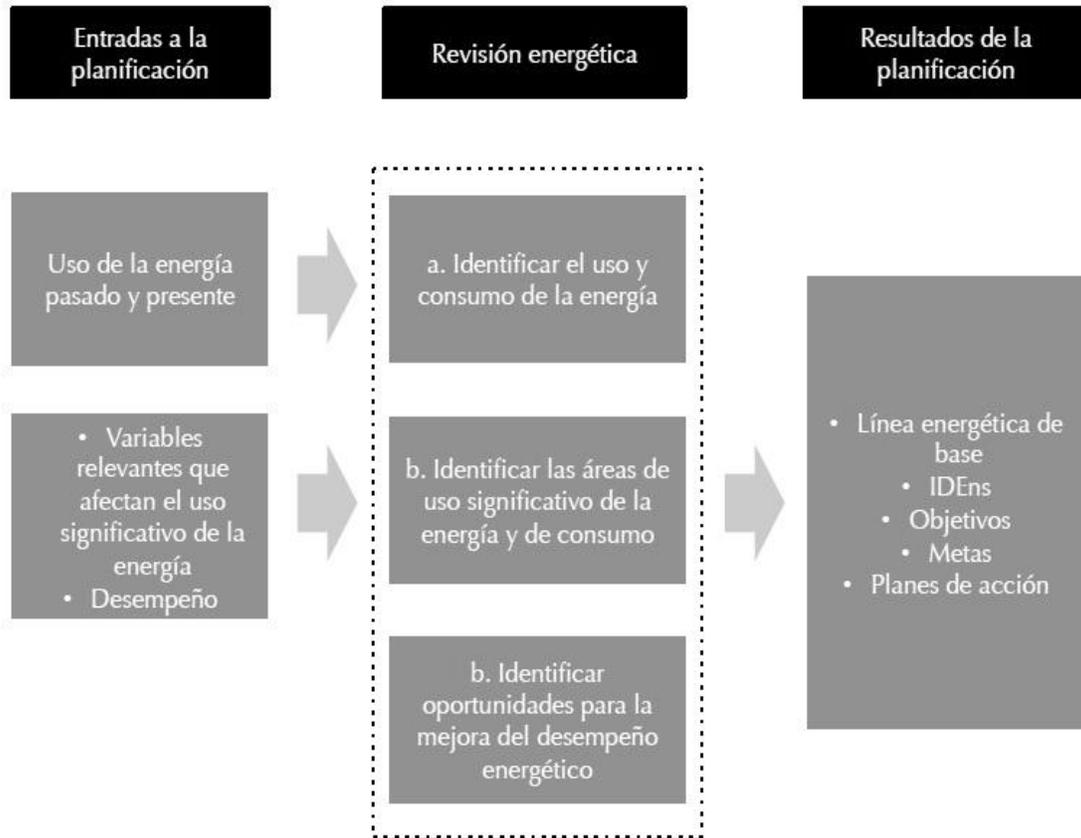


Figura 2.0 Diagrama conceptual del proceso de planificación energética. (Campo, 2012)

2.1.2.1 Requisitos legales y otros requisitos.

Los requerimientos legales aplicables son aquellos requerimientos internacionales, nacionales, regionales y locales, que comprendan el alcance del sistema de uso de la energía. Cada organización debe identificar, implementar y tener acceso a los requisitos legales aplicables y otros requisitos que la organización suscriba relacionados con su uso, consumo de energía, y su eficiencia energética.

2.1.2.2 Revisión energética.

La actividad central de la planificación energética es la revisión energética, lo cual es un proceso de identificación y evaluación del uso de la energía que debería conducir a la organización a definir las áreas de usos significativos de la energía e identificar oportunidades para mejorar el desempeño energético.

Las fuentes potenciales de energía pueden incluir fuentes convencionales que no hayan sido previamente utilizadas por la organización. Las fuentes de energías alternativas pueden incluir combustibles fósiles o no fósiles.

La actualización de la revisión energética significa la actualización de la información relacionada con el análisis, determinación de la significación y determinación de las oportunidades de mejora del desempeño energético.

Una auditoría o evaluación energética comprende una revisión detallada del desempeño energético de una organización, de un proceso o de ambos. Se basa generalmente en una apropiada medición y observación del desempeño energético real. Los resultados de la auditoría generalmente incluyen información sobre el consumo y el desempeño actuales y pueden ser acompañadas de una serie de recomendaciones categorizadas para la mejora del desempeño energético. Las auditorías energéticas se planifican y se realizan como parte de la identificación y priorización de las oportunidades de mejora del desempeño energético.

[\(Electrotécnicos, 2011\)](#)

El concepto detrás del término revisión energética es prácticamente el mismo que en los demás sistemas de gestión de la energía mencionada. De esta manera, en la Norma ANSI/MSE 2000 se expresa como perfil energético, mientras que, en la EN 16001, como identificación y evaluación de los aspectos energéticos. Así mismo, en el modelo de Energy Star, se declara como evaluación del desempeño; y en la TGTEE, como identificación, y como diagnóstico energético, respectivamente.

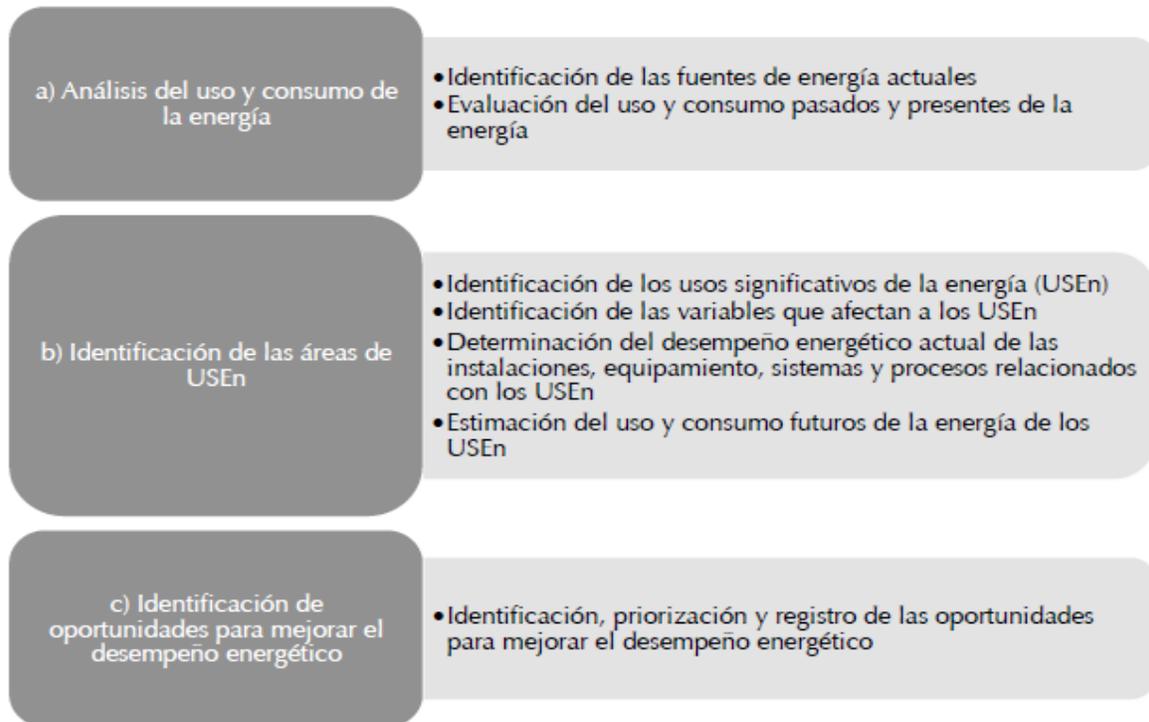


Figura 2.1 Actividades de la revisión energética. (Campo, 2012)

2.1.2.3 Línea de base energética.

La organización debe establecer una(s) línea(s) de base energética utilizando la información de la revisión energética inicial y considerando un período para la recolección de datos adecuado al uso y al consumo de energía de la organización. Los cambios en el desempeño energético deben medirse en relación a la línea de base energética. (Electrotécnicos, 2011)

2.1.2.4 Indicadores de desempeño energético (IDEn).

La Norma establece la necesidad de identificar IDEn apropiados para realizar mediciones y seguimiento al desempeño energético de la organización. Los IDEn, al igual que la línea de base energética, tienen mucha utilidad en comparaciones de desempeños posteriores a la implementación del SGEN o a la puesta en marcha de una mejora.

2.1.2.5 *Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción para la gestión de la energía.*

La organización debe establecer, implementar y mantener objetivos energéticos y metas energéticas documentados correspondientes a las funciones, niveles, procesos o instalaciones pertinentes dentro de la organización. Deben establecerse plazos para el logro de los objetivos y metas.

Los objetivos y metas deben ser coherentes con la política energética. Las metas deben ser coherentes con los objetivos.

Cuando una organización establece y revisa sus objetivos y metas, la organización debe tener en cuenta los requisitos legales y otros requisitos, los usos significativos de la energía y las oportunidades de mejora del desempeño energético, tal y como se identifican en la revisión energética. También debe considerar sus condiciones financieras, operacionales y comerciales, así como las opciones tecnológicas y las opiniones de las partes interesadas.

La organización debe establecer, implementar y mantener planes de acción para alcanzar sus objetivos y metas. (Electrotécnicos, 2011)

2.1.3 *Uso de herramientas de apoyo en la planificación energética.*

La planificación energética, como en los demás Sistemas de Gestión de la energía, comprende una serie de actividades, lo cual involucra la recolección, registro y análisis de datos sobre el uso y consumo de la energía, con el fin de identificar oportunidades de mejora, a partir de las cuales, se establecen las acciones necesarias para implementarlas. Sin duda que una apropiada manipulación e interpretación de estos datos garantiza alcanzar el fin último del sistema de gestión: la mejora continua del desempeño energético de la organización.

En la Tabla 2.0 se organizaron de acuerdo al objetivo que persigue cada requisito para el cual se propusieron. Con esta tabla es evidente la gran variedad de herramientas que podrían usarse en el establecimiento, implementación y operación de la fase de planificación energética de la ISO 50001.

Tabla 2.0 Herramientas propuestas en los Sistemas de Gestión de la Energía.

Objetivo del requisito	Herramientas
Identificar tendencias y patrones en el uso y el consumo de todas las fuentes de energía.	<i>Portfolio Manager</i> de Energy Star, <i>Energy Performance Indicator</i> de Energy Star. Tablas, gráficos, hojas de cálculo, software especializado, técnicas de normalización de datos, análisis de regresión, Gráfico de Consumo y Producción en el tiempo, técnica de Producción Equivalente, Diagrama Índice de Consumo versus Producción, Carta CUSUM, Gráfico Base 100.
Identificar áreas de uso significativo de la energía.	Balances energéticos, análisis de Pareto, estratificación, análisis de riesgo, sistemas de ranqueo, prioridades de costos, mapas de proceso, diagramas Sankey, modelos energéticos, mapeo de energía, encuestas de tecnologías de uso final, perfiles de consumo energético, <i>benchmarks</i> , encuestas, lecciones aprendidas, auditorías energéticas, revisión de procedimientos operativos, diagnósticos energéticos, listas maestras de equipos, herramienta de Energy MAP <i>Significant Energy Users</i> , listas de chequeo, Diagrama Energético–Productivo.
Evaluar el desempeño energético	Diagnósticos energéticos de todos los niveles (específicos para cada sistema energético), auditorías energéticas.
Identificar oportunidades de mejora	Auditorías energéticas, modelos energéticos, revisión de mejor tecnología disponible, análisis Pinch, análisis de requerimientos energéticos, análisis de causa raíz, <i>benchmarks</i> , <i>Lean manufacturing</i> , <i>Seis Sigma</i> , perfiles de consumo energético, encuestas, lecciones aprendidas, revisión de procedimientos operativos, diagnósticos energéticos, análisis termo-económicos, criterios de expertos.
Identificar indicadores de desempeño energético.	Análisis de correlación estadística, técnicas de normalización, filtrado de <i>outliers</i> .
Establecer objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción	Buenas prácticas por tecnologías de uso final, análisis de regresión, análisis CUSUM, control estadístico de proceso, análisis de carga base, técnicas de mantenimiento predictivo, buenas prácticas sectoriales, minería de datos, <i>benchmarks</i> , lluvia de ideas, mapas mentales, guías: Energy MAP: <i>How to set objectives and targets</i> y <i>Guide on setting SMART objectives</i> , <i>Herramienta Energy MAP: Programme Plan</i> .

2.2 Posibles herramientas a emplear. Análisis crítico de las herramientas.

La selección se fundamentó en su aplicabilidad práctica y sencillez, específicamente en pequeñas y medianas organizaciones, que se establecen o implementan por primera vez, o que tienen poca madurez, y que realizan un primer ciclo PHVA para comprender su situación energética actual frente al cumplimiento de los requisitos de la Norma. En este tipo de organizaciones es común una escasez relativa de datos históricos de energía y de otras variables, lo que limita el uso de herramientas más sofisticadas. Es importante resaltar que la aplicabilidad de las herramientas presentadas no sólo se limita al establecimiento e implementación, muchas de ellas son igualmente útiles durante la operación del Sistema de Gestión de la Energía.

Las herramientas se organizan dentro de las actividades de la revisión energética mencionados en figura 2.1 y a continuación se sugieren las herramientas que se consideran pertinentes para cumplirlo.

2.2.1 Análisis del uso y del consumo de energía.

El objetivo central de este requisito es identificar patrones y tendencias globales en el uso y el consumo de todas las fuentes de energía utilizadas por la organización. Ello posibilita comprender cómo ha sido y cómo es actualmente el desempeño energético, estimar comportamientos futuros y establecer diferencias con los reales, y decidir hasta qué punto sus variaciones son aceptables. Dicho análisis permite, además, tener una primera impresión de las áreas de mayor consumo y de algunos potenciales de mejora.

El cumplimiento de este objetivo depende en gran medida de la calidad de los datos a que la organización tenga acceso, pues ello definirá el tipo de análisis que se pueda realizar. De cualquier modo, estos datos deben, inicialmente, permitir describir de manera general la situación pasada y presente del sistema energético de la organización. La cantidad de datos disponible debe cubrir como mínimo dos años de operación, en los cuales haya habido una operación estable sin cambios considerables en la organización.

Antes de realizar cualquier tipo de análisis es recomendable normalizar los datos y de esta manera tener en cuenta la influencia de factores relevantes, como el nivel de

producción y la temperatura ambiente, así como posibles errores en las mediciones, en la calidad de los mismos. (Campo, 2012)

Para analizar las tendencias y patrones del consumo de energía y de sus variables de influencia:

- Gráfico de Consumo de energía y Producción en el tiempo.
- Gráfico de Control.
- Diagrama de Consumo de Energía - Producción.
- Diagrama de Índice de Consumo de Energía – Producción.

2.2.1.1 Gráfico de Consumo de energía y producción en el tiempo (E-P vs. T).

Esta herramienta posibilita observar la variación simultánea del consumo de energía con el nivel de producción durante un periodo determinado, facilitando la identificación de comportamientos anómalos, es decir, aquellos en donde no exista una variabilidad proporcional. Análisis más profundos de estas variaciones especiales, permitirán identificar las causas o factores que las producen para tomar las acciones necesarias para evitar que se repitan. Este gráfico puede realizarse para cada fuente de energía utilizada en la organización y establecerse para varios niveles, según sus necesidades.

La Figura 2.2 muestra un ejemplo de este gráfico, en donde se aprecia como varían el consumo de energía eléctrica y el nivel de producción de una organización determinada.

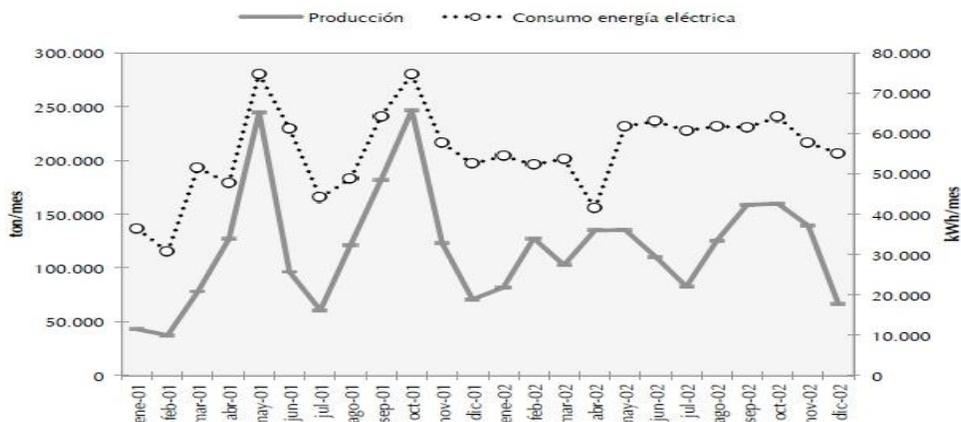


Figura 2.2 Gráfico de consumo y producción en el tiempo. (Campo, 2012)

Generalmente debe ocurrir que un incremento de la producción produce un incremento del consumo de energía asociado al proceso y viceversa.

Comportamientos anómalos son:

- Incrementa la producción y decrece el consumo de energía.
- Decrece la producción y se incrementa el consumo de energía.
- La razón de variación de la producción y el consumo, ambos creciendo o decreciendo, son significativos en el período analizado. (Yanes, 2006)

2.2.1.2 Gráfico de Control.

Los gráficos de control son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable en función de ciertos límites establecidos, como procesos de producción. Se usan como instrumento de autocontrol y resultan muy útiles para detectar en cuáles fases del proceso analizado se producen las alteraciones.

Su importancia consiste en que la mayor parte de los procesos productivos tienen un comportamiento denominado normal, es decir existe un valor medio M del parámetro de salida muy probable de obtener, y a medida que nos alejamos de este valor medio la probabilidad de aparición de otros valores de este parámetro cae bruscamente, si no aparecen causas externas que alteren el proceso, hasta hacerse prácticamente cero para desviaciones superiores a tres veces la desviación estándar (3σ) del valor medio. Este comportamiento (que debe probarse en caso que no exista seguridad que ocurra) permite detectar síntomas anormales actuando en alguna fase del proceso y que influyan en desviaciones del parámetro de salida controlado. (Yanes, 2006)

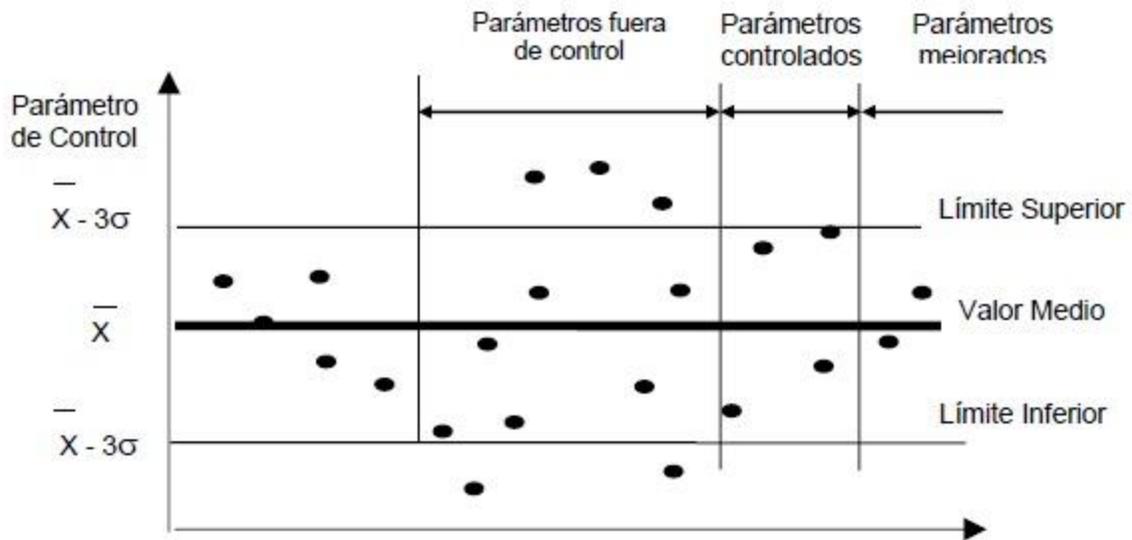


Figura 2.3 Grafico de Control. (Yanes, 2006)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde:

x_i = valor del elemento i de la muestra.

n = tamaño de la muestra.

$LCS = \bar{x} + 3\sigma$ límite de control superior de \bar{x} .

$LCI = \bar{x} - 3\sigma$ límite de control inferior de \bar{x} .

El objetivo del uso de este gráfico es determinar si los consumos y costos energéticos tienen un comportamiento estable o un comportamiento anómalo.

2.2.1.3 Diagrama de Consumo de Energía - Producción.

Para las empresas industriales y de servicios, realizar un diagrama de dispersión de la energía usada por mes u otro período de tiempo con respecto a la producción realizada o los servicios prestados durante ese mismo período, revela importante información sobre el proceso. Este gráfico de E vs. P puede realizarse por tipo de portador energético, y por áreas, considerando en cada caso la producción asociada al portador en cuestión. Por ejemplo: una fábrica de helados graficará el consumo de combustible o electricidad versus las toneladas de helados producidas, mientras que en un hotel turístico se puede graficar el consumo de electricidad o de gas versus los cuartos-noches ocupados. (Yanes, 2006)

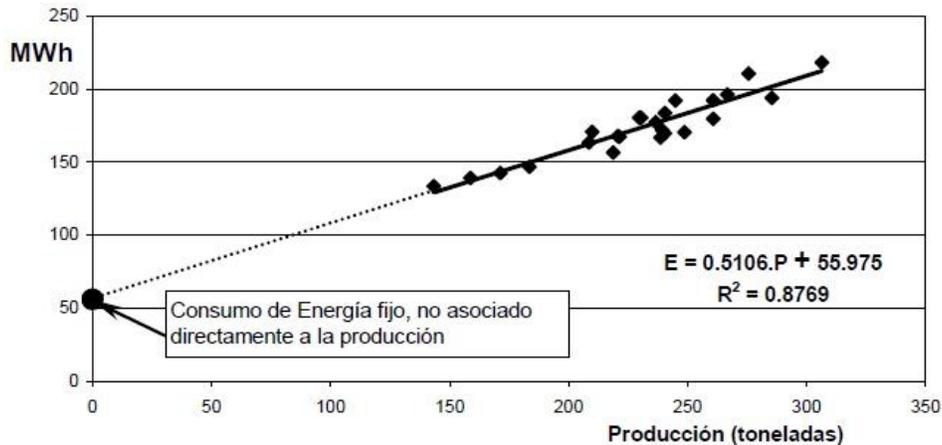


Figura 2.4 Diagrama de Consumo de Energía vs Producción. (Yanes, 2006)

Utilidad de los Diagramas E vs. P.

- Determinar en qué medida la variación de los consumos energéticos se deben a variaciones de la producción.
- Mostrar si los componentes de un indicador de consumo de energía están correlacionados entre sí, y por tanto, si el indicador es válido o no.
- Establecer nuevos indicadores de consumos o costos energéticos.
- Determinar la influencia de factores productivos de la empresa sobre los consumos energéticos y establecer variables de control.

- Identificar el modelo de variación promedio de los consumos respecto a la producción.
- Determinar cuantitativamente el valor de la energía no asociada a la producción.

En el gráfico de consumo vs producción se ajustó la línea más adecuada utilizando el método de los mínimos cuadrados, aunque igualmente se puede hacer mediante algún paquete estadístico para determinar el coeficiente de correlación entre E y P. Se puede expresar analíticamente la pendiente y el intercepto de la recta en forma de ecuación:

$$E = m.P + E_0 \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Donde:

E – Consumo de energía en el período seleccionado.

P – Producción asociada en el período seleccionado.

m – Pendiente de la recta que significa la razón de cambio medio del consumo de energía respecto a la producción.

E₀ – Intercepto de la línea en el eje *y*, que representa la energía no asociada directamente al nivel de producción.

m.P – Es la energía utilizada en el proceso productivo.

2.2.1.4 Diagrama de Índice de Consumo de Energía - Producción. (IC vs. P)

El diagrama de índice de consumo de energía - producción se obtiene del gráfico E vs. P y la ecuación $E = m.P + E_0$, con un nivel de correlación significativo.

La expresión de la función $IC = f(P)$ se obtiene de la siguiente forma:

$$E = m.P + E_0$$

$$IC = E/P = m + E_0/P$$

$$IC = m + E_0/P \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

A continuación se presenta el gráficos de IC vs. P, en los que se observa la influencia del nivel de producción sobre el índice de consumo.

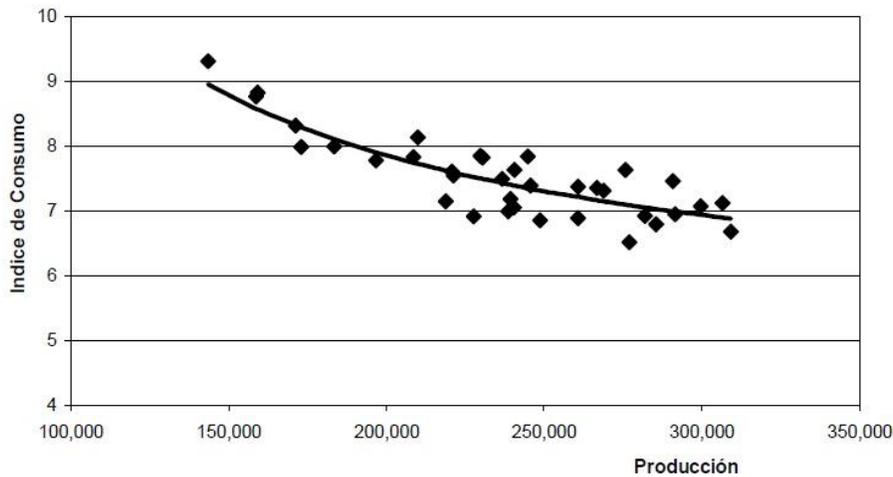


Figura 2.7 Diagrama de Índice de Consumo – Producción. (Yanes, 2006)

El gráfico IC vs. P es muy útil para establecer sistemas de gestión energética, y estandarizar procesos productivos a niveles de eficiencia energética superiores.

Si los valores de IC están por debajo de la curva, representa un comportamiento bueno del índice de consumo en un periodo de tiempo determinado, eso significa un incremento de eficiencia del proceso, si es al contrario la empresa tendrá un alto índice de consumo para la misma producción. Se puede usar este gráfico para establecer criterios de eficiencia energética teóricamente para la empresa, eso quiere decir que en el mismo gráfico se puede establecer una línea meta. Véase Figura 2.8

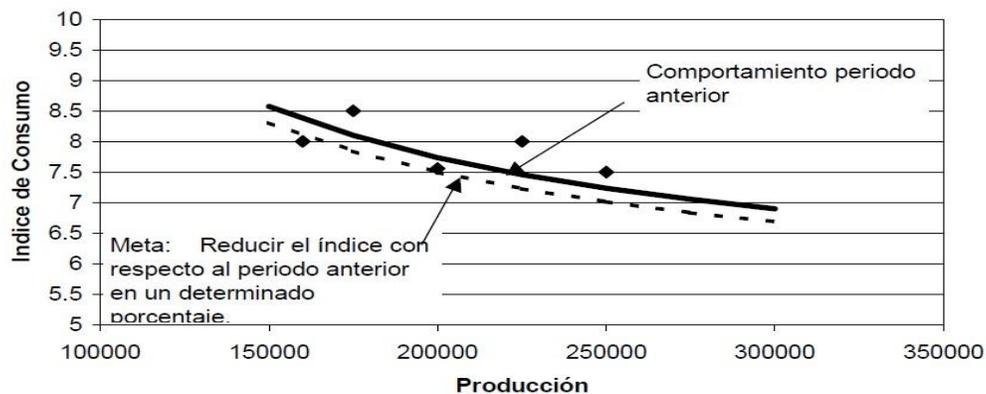


Figura 2.8 Establece una línea meta. (Yanes, 2006)

2.2.2 Identificación de las áreas de uso significativo de la energía (USEn).

Según la Norma ISO 50001, un uso significativo de la energía es “un uso de la energía que ocasiona un consumo sustancial de energía y/o que ofrece un potencial considerable para la mejora del desempeño energético” (Electrotécnicos, 2011). Al mismo tiempo, define uso de la energía como “forma o tipo de aplicación de la energía”. Por tanto, el objetivo del requisito es identificar todas las aplicaciones altamente consumidoras de energía y/o las que ofrecen mejores potenciales de ahorro, para darles especial atención y de esta manera obtener los mayores beneficios en el desempeño energético con un mínimo de recursos.

Para SGEEn que se establecen e implementan por primera vez, es recomendable definir solo unos pocos USEn para mantener la sencillez del sistema a medida que se gana experiencia en su mecánica. Mientras más USEn se precisen, más complejo se volverá el sistema de gestión y por tanto, demandará mayores recursos, lo que puede llegar a comprometer su mantenimiento.

En tal sentido las herramientas que se proponen para apoyar la identificación de los usos y consumos significativos son:

- Diagrama Energético-Productivo.
- Diagrama de Pareto.
- Mapeo de energía.
- Diagramas Sankey.

2.2.2.1 Diagrama Energético – Productivo.

Esta herramienta consiste en desarrollar el diagrama de flujo del proceso productivo, agregándole todas las entradas y salidas de materiales (incluidos residuos) y de energía, con sus magnitudes características para los niveles de producción típicos de la empresa. También en el diagrama se muestran los niveles de producción de cada etapa, así como entradas externas al proceso de materiales semi-procesados si los hubiera. El diagrama energético – productivo tiene la utilidad de mostrar la relación entre las diferentes etapas del proceso productivo y las etapas mayores consumidoras por tipo de energético y las posibilidades de cambio en la programación del proceso o

introducción de modificaciones básicas para reducir los consumos energéticos. También, facilita el establecimiento de indicadores de control por áreas, procesos y equipos mayores consumidores y permite determinar la producción equivalente de la empresa.

2.2.2.2 Diagrama de Pareto.

El diagrama de Pareto es un gráfico especial de barras cuyo campo de análisis o aplicación son los datos categóricos, y tiene como objetivo ayudar a localizar el o los problemas vitales, así como sus causas más importantes. La idea es que cuando se quiere mejorar un proceso o atender sus problemas, con base en los datos e información aportados por un análisis de Pareto, se establezcan prioridades y se enfoquen los esfuerzos donde puedan tener mayor impacto.

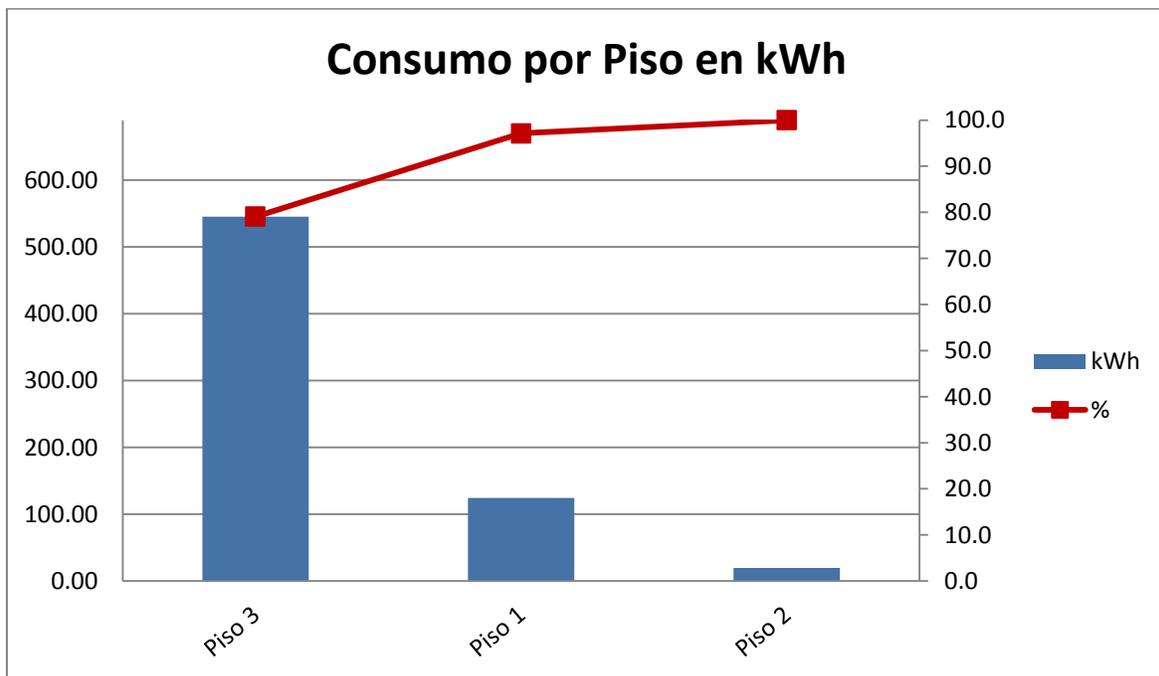


Figura 2.9 Diagrama de Pareto.

El diagrama de Pareto puede identificar y concentrar los esfuerzos en los puntos clave de un problema o fenómeno como puede ser: los mayores consumidores de energía, las mayores pérdidas energéticas o los mayores costos energéticos y predecir la efectividad de una mejora al conocer la influencia de la disminución de un efecto al reducir la barra de la causa principal que lo produce.

2.2.2.3 Mapeo de energía.

Con esta herramienta es posible presentar gráficamente de forma desagregada el consumo de energía en sus usos finales. Por ejemplo, un mapeo de electricidad puede consistir en una desagregación del consumo energético en iluminación, climatización, aire comprimido, etc. Aunque el mapeo de energía parece muy sencillo, es resultado de un análisis detallado del uso y consumo de la energía en la organización.

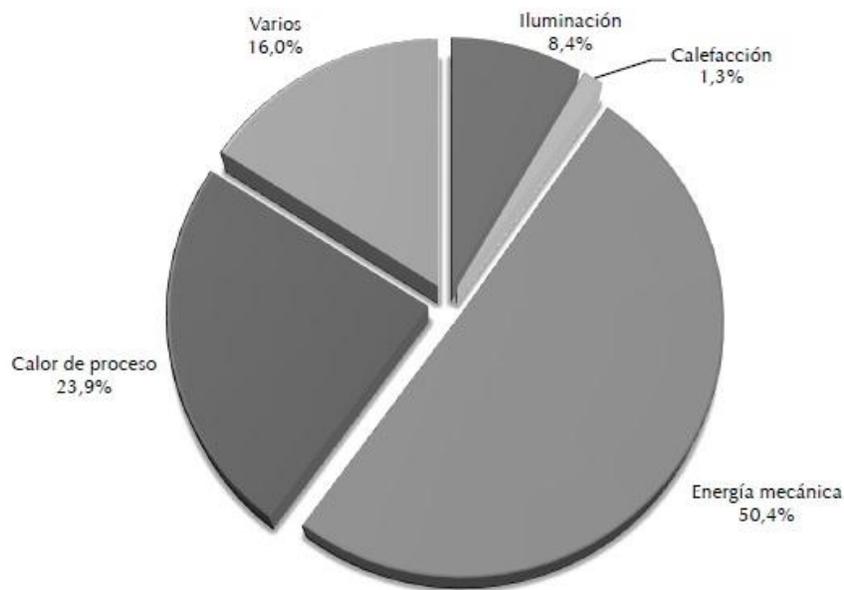


Figura 2.10 Mapeo de energía. (Campo, 2012)

La Figura 2.10 muestra los usos de la energía eléctrica en una planta industrial a través de un mapeo. En ésta se evidencia que el uso de energía mecánica, representa más del 50% del consumo de eléctrico en esta instalación.

2.2.2.4 Diagramas Sankey.

Los diagramas de Sankey se suelen utilizar para visualizar las transferencias de energía, material o coste entre procesos, a través de flechas que muestran la pérdida o dispersión por transferencia. También se utilizan para visualizar las cuentas de energía o de flujo de materiales a nivel regional o nacional. Este tipo de diagramas pone un énfasis visual de las transferencias importantes o flujos dentro de un sistema, y son de gran ayuda en la localización de las contribuciones dominantes para un flujo total. A

menudo, los diagramas de Sankey muestran cantidades conservadas dentro de los límites de un sistema definido, típicamente energía o masa, pero también se puede utilizar para mostrar los flujos de cantidades no conservadas tales como exergía; éstos últimos se llaman diagramas de Grassmann.

Al respecto, la ISO publicó recientemente la Norma ISO 13579 - Method of measuring energy balance and calculating efficiency, que especifica los cálculos para llevar a cabo balances de energía y diagramas Sankey en quemadores industriales. Aunque la Norma está diseñada para los constructores de estos equipos durante las puestas en marcha, puede ser igualmente usada para verificar el estado del consumo de la energía e identificar potenciales de mejora. (Campo, 2012)

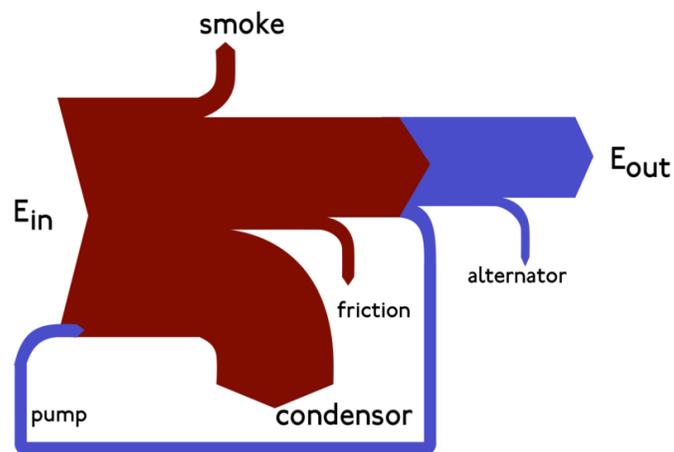


Figura 2.11 Diagrama Sankey para un sistema de generación de vapor.

2.2.3 Identificación de oportunidades para mejorar el desempeño energético.

Los herramientas anteriormente mencionadas permiten una identificación simultánea de oportunidades de mejora, tal como se mencionó en el caso de los diagnósticos energéticos (o auditorías energéticas) y en la identificación de los USEn.

La identificación e implementación de oportunidades de mejora es un elemento fundamental dentro del SGE_n, y debe ser un proceso continuo para que pueda contribuir eficazmente al mejoramiento permanente del desempeño energético de la organización.

Un concepto útil es iniciar la búsqueda de oportunidades de mejora en el punto de uso final de la energía, donde ésta tiene un costo mayor, y desde allí hacia el punto de suministro de la energía. Es decir, como primera medida es aconsejable verificar que el uso de la energía esté acorde a la necesidad, luego, comprobar que el uso cumpla con un nivel de eficiencia determinado, y por último, considerar una optimización del suministro.

2.2.3.1 Buenas Prácticas.

Las guías de buenas prácticas indican las oportunidades de mejora más comunes en los sistemas energéticos industriales, siendo de mucha utilidad durante los análisis de desempeño energético, y sirviendo además, como listas de chequeo durante inspecciones.

Las series publicadas por el *Energy Efficiency Best Practice Programme* del gobierno británico, son una buena herramienta en este sentido. En ellas se indican qué aspectos examinar primero, normalmente fáciles de solucionar o de bajo costo de inversión, y listas de oportunidades potenciales que requieren cierto grado de inversión. Igualmente, *Carbon Trust*, de este mismo país, tiene disponible muchas publicaciones útiles sobre los mismos temas, que pueden ser descargadas gratuitamente de su página web: www.carbontrust.co.uk

Energy Star también dispone de una serie de guías, específicas para varias industrias, para identificar y evaluar oportunidades de mejora, desarrollar planes de acción y listas de chequeo. Se pueden descargar sin ningún costo en: www.energystar.gov (Campo, 2012)

2.2.3.2 Monitoring and Targeting.

Otra metodología usada en la industria, principalmente en Europa, para la identificación de oportunidades de mejora es el *Monitoring and Targeting* (Monitoreo, análisis y selección de objetivos). Aunque comparte muchos de los conceptos de la revisión energética, en esta metodología todos los recursos energéticos, y sus flujos, dentro de la planta, son considerados recursos controlables, y se gestionan al igual que las materias primas, los productos terminados, el capital y el personal.

El *Monitoring and Targeting*, propone una división de la planta en centros de costos energéticos, en donde cada recurso energético es monitoreado y su consumo es comparado con una variable de influencia. Este enfoque permite una gestión adecuada de los costos energéticos y una apropiada asignación de recursos monetarios. La información recopilada en cada uno de ellos es analizada para identificar desviaciones y tendencias y a partir de allí, establecer objetivos y planes de mejora.

2.2.3.3 Brainstorming.

Otro concepto que puede identificar oportunidades para mejorar el desempeño energético es el *Brainstorming* o Tormenta de Ideas. El intercambio intensivo de ideas se utiliza para identificar posibles soluciones a los problemas y las oportunidades potenciales para el mejoramiento de la calidad y la eficiencia. La tormenta de ideas es una técnica para concentrar el pensamiento creativo de un equipo con vistas a generar y aclarar una relación de ideas, problemas o mejoras. En los sistemas de vapor esta herramienta facilita que diversas personas que laboran en diferentes horarios, puestos de trabajo y nivel ocupacional puedan incluir sus criterios en la toma de decisiones.

Entre las orientaciones para la tormenta de ideas se incluyen:

- Se identifica un facilitador.
- Se establece claramente el propósito de la tormenta de ideas.
- Cada miembro del equipo recibe un turno por orden, y establece una única idea.
- Cuando sea posible, los miembros del equipo cuentan con las ideas de los demás; en esta etapa, las ideas no son objeto de crítica de debate.
- Las ideas se registran en un lugar en que todos los miembros del equipo puedan verlas.
- Este proceso continúa hasta que se agote la generación de ideas.

2.3 Posibles nuevas herramientas.

2.3.1 Carta CUSUM tabular para el seguimiento.

Los IDEn, aplicados con las herramientas adecuadas, pueden contribuir eficazmente al monitoreo, identificación y análisis de desviaciones en las metas establecidas en el proceso de planificación energética. Una de las herramientas más usadas para este

propósito es la carta de control, la cual está basada en la carta de control de individuales que se utiliza en el control estadístico de la calidad.

En esta carta se considera normal la variabilidad dentro de un rango definido por más o menos tres veces la desviación estándar de la media de los valores observados del indicador. Por ello, si se observa un valor fuera de este rango, será señal de que ha ocurrido algo fuera de lo usual en el desempeño energético de la organización.

Otras señales de comportamiento anómalo observables son los cambios en la media, marcadas tendencias crecientes y decrecientes, ciclos recurrentes, y alta o baja variabilidad en los valores.

Dichos comportamientos son evidentes sólo cuando se presentan cambios importantes en el indicador, algunas veces demasiado tarde para tomar acciones preventivas. Es decir, la carta no tiene la sensibilidad suficiente para detectar cambios pequeños en el nivel del indicador, ni para evidenciar las tendencias asociados a ellos, perdiendo utilidad cuando se requiere realizar un monitoreo y control más preciso de la variabilidad del mismo.

Una pronta identificación de estas tendencias es muy importante para el proceso de mejora continua en el que se enmarca la gestión de la energía, ya que ellas pueden ser señales tempranas sobre cambios mayores en el indicador, los cuales puedan resultar luego en un incumplimiento de alguna meta energética.

Otra herramienta, también utilizada en el control estadístico de la calidad y que facilita la rápida identificación de cambios pequeños en un proceso, es la carta CUSUM (suma acumulativa). En esta carta se grafica la suma acumulada de las desviaciones respecto al valor nominal de la característica de interés, en alguno de sus dos tipos: de dos lados y tabular.

La carta CUSUM de dos lados requiere, para determinar si el proceso está fuera de control, un dispositivo especial llamado máscara V, que forma sus límites de control. Si algún punto se ubica fuera de los brazos de la máscara, el proceso se considera fuera de control. Véase Figura 2.11

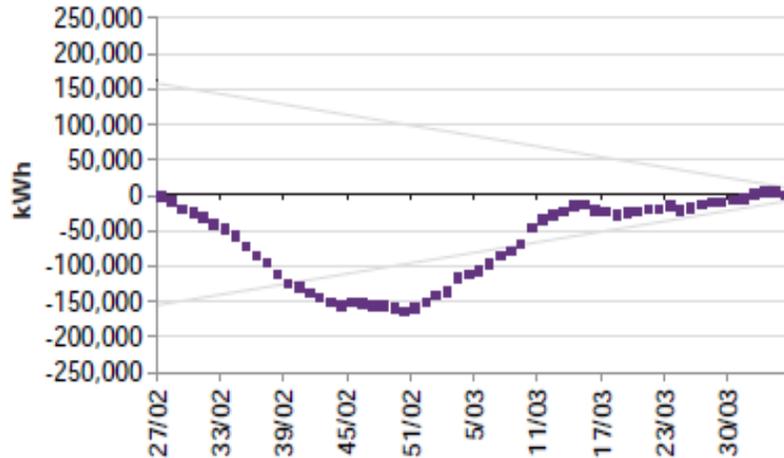


Figura 2.11 Ejemplo de carta CUSUM

La CUSUM tabular presenta menos dificultades para la construcción de los límites de control y además, ofrece excelentes resultados en el seguimiento de pequeñas variaciones. Estos dos atributos la hacen una buena alternativa para el monitoreo y control cercano de la variabilidad de un IDEn.

En la carta CUSUM tabular se considera de manera separada las sumas acumuladas de las desviaciones por arriba y por abajo del valor nominal (o meta) de una característica de interés, que en este caso sería el indicador de desempeño.

Dichas sumas se definen en el punto i como:

$$S_H(i) = \text{máx}[0, X_i - (\mu_0 + K) + S_{H(i-1)}] \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

$$S_L(i) = \text{mín}[0, (\mu_0 - K) - X_i + S_{L(i-1)}] \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Con $S_H(0) = 0$ y $S_L(0) = 0$. X_i Es el valor observado del IDEn en el tiempo i , mientras que el parámetro K es el valor de referencia y corresponde a la mitad del cambio de nivel que interesa detectar, expresado en unidades del indicador, es decir, $K = k\sigma_x$. Por su parte, μ_0 es el valor nominal (o meta) del indicador.

La desviación estándar en los valores del IDEn, σ_x , se puede obtener a través del método de rangos:

$$\sigma_x = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

Donde \bar{R} es la media de los rangos móviles entre dos observaciones sucesivas (de orden 2), en cuyo caso, d_2 asume el valor de 1,128.

El criterio para decidir si el proceso está fuera de control, es que alguna de las sumas supere el intervalo de decisión dado por H , igualmente expresado en unidades del indicador, es decir $H = h \sigma_x$. Este parámetro generalmente se toma como 4 ó 5 veces el cambio de nivel que interesa detectar, y que forma los límites de control de la carta.

Debido a que los cambios de nivel que comúnmente interesa detectar son los de 1 sigma (1σ), los valores usuales de k y h son 0,5 y 4, respectivamente, los cuales ofrecen una respuesta óptima para estos cambios.

La suma por arriba (S_H) acumula sólo cuando el valor observado en el tiempo i es mayor que $(\mu_0 + K)$, mientras que la suma por abajo S_L , acumula cuando el valor observado en el tiempo i es menor que $(\mu_0 - K)$. Así que, las sumas anteriores sólo acumulan cuando el valor observado en el indicador se aleja del valor nominal (o meta), μ_0 , más allá del valor de referencia para el cambio de nivel a detectar, K . Esta característica de la carta garantiza que sólo las variaciones de interés sean tenidas en cuenta. Cuando no se cumplen éstas dos condiciones, las sumas asumen el valor de cero. La Figura 3.1 ilustra estas tres situaciones.

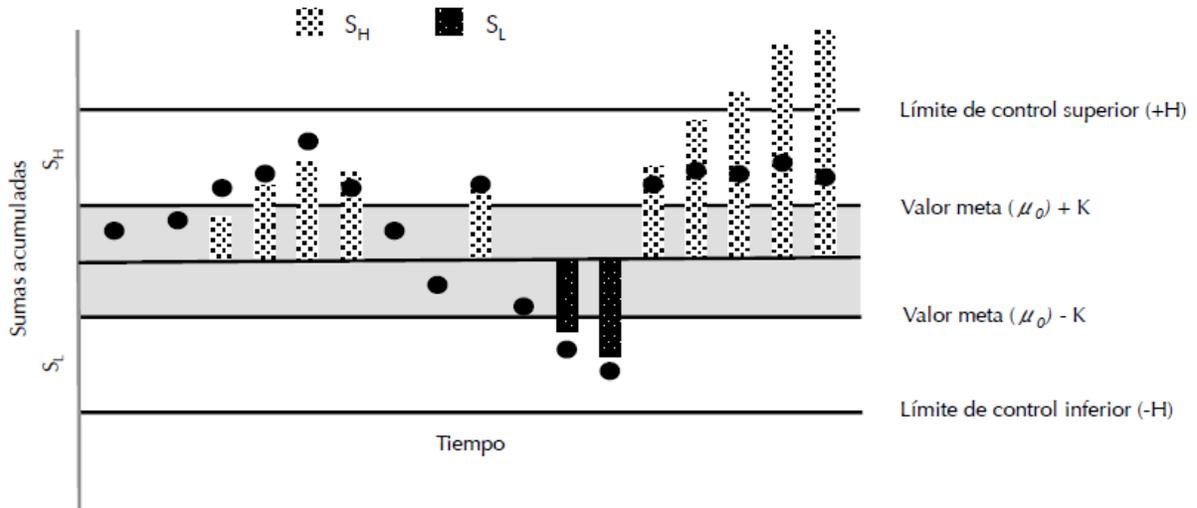


Figura 2.13 Ejemplo de la carta CUSUM tabular. (Campo, 2012)

En el contexto de la gestión de la energía, esta herramienta tiene gran utilidad en la rápida detección de cambios pequeños en el IDEn, permitiendo un monitoreo más cercano de éste y así, anticipar cambios mayores o especiales que podrían conllevar al incumplimiento de una meta. (Campo, 2012)

2.3.2 Caracterización de procesos por data de Monitoring and Targeting.

Desde el punto de vista de *Monitoring and Targeting*, los procesos industriales se dividen en dos grupos:

- **Procesos donde el uso de energía está determinado por la física del proceso**, es decir, la cantidad de energía utilizada y en qué medida el proceso se transforma el producto.
- **Procesos en la física no se proporciona la energía necesaria**; muchos de estos procesos son de naturaleza mecánica y constan de procesos de recorte, mezcla, transporte, etc.

En los procesos donde hay una relación con la producción, es importante establecer bajo qué condiciones dicha relación se ha hecho.

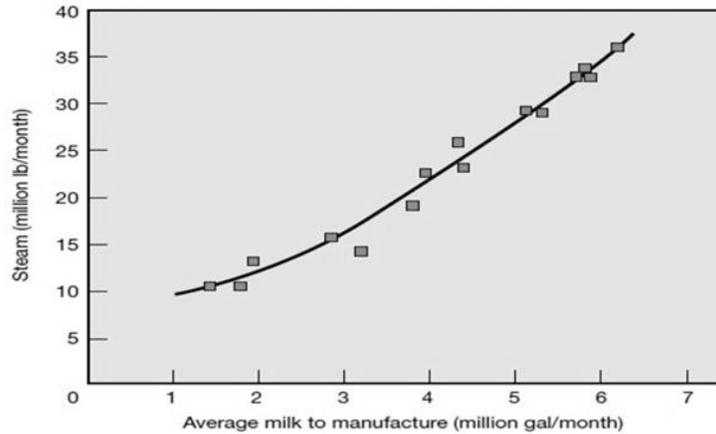


Figura 2.5 Diagrama de consumo de Energía vs Producción – ejemplo de una curva de una industria con diferentes eficiencias. (Efficiency, 1998)

Este diagrama tiene esta tendencia cuando:

- Los datos relacionados a la planta y su producción a diferentes niveles han sido logrados por cambios en dicha planta.
- Los datos se refieren a los múltiples usos de la energía, y hay una relación entre aquellos que no es una simple proporción.

Esta tendencia tiene una fórmula adecuada:

$$E = (m_1 \cdot F_1 + m_2 \cdot F_2 + m_3 \cdot F_3 + \dots + m_n \cdot F_n) \times P + c \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

Donde:

F_1 y F_2 , etc son las fracciones de producción durante un periodo asociado.

m_1 y m_2 , etc son constantes específicas del producto.

La Figura 2.6 representa una curva decreciente la cual se hace recta en producciones más altas. Esta tendencia es irregular. Este tipo de tendencia raramente se encuentra en la práctica y en muchos procesos es indicativo de que el consumo lo determina la planta más ineficiente.

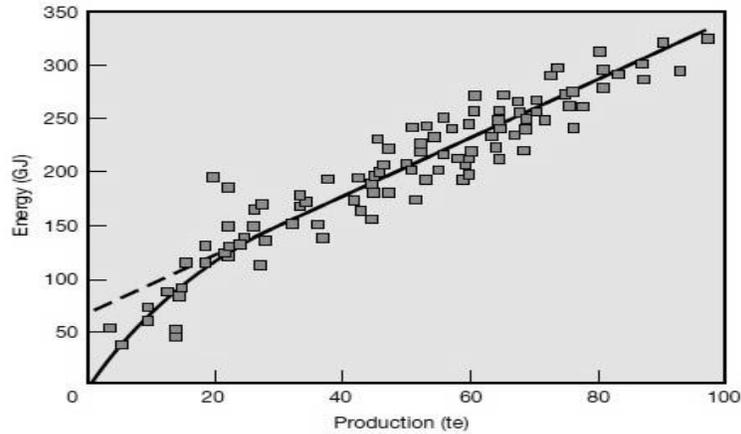


Figura 2.6 Diagrama de consumo de Energía vs Producción. (Efficiency, 1998)

La expresión de la curva es desconocida, o no puede ser calculada fácilmente. Una ecuación empírica que podría ser útil para este tipo de gráfico es:

$$E = (1 - \exp^{-k.P}) \times (m.P + c) \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

Donde:

m – la pendiente de la línea recta.

C – Intercepto de la línea en el eje *y*, que representa la energía no asociada directamente al nivel de producción.

K – es una constante empírica (también llamada coeficiente aproximado) (Efficiency, 1998)

Conclusiones Parciales.

1. La implementación de la ISO 50001 adoptada en Cuba como Norma Cubana ISO 50001 requiere de manuales de procedimiento que indiquen cómo aplicar las herramientas necesarias para los diferentes procesos industriales consumidores de energía, lo que justifica la elaboración de estos requerimientos en sistemas de producción.
2. La revisión energética en el área de producción requiere datos confiables y revisiones técnicas, que permitan valorar el comportamiento pasado y presente de los diferentes portadores, y cree bases para la posterior fase del planteamiento de objetivos y metas.
3. Aunque las situaciones industriales son variadas, es posible explicar en forma general la aplicabilidad de las diferentes herramientas presentadas, para el cumplimiento del objetivo central de cada uno de los requisitos del proceso de planificación.
4. Las consultas bibliográficas y las experiencias cubanas en la aplicación de herramientas en el proceso de planificación energética, permite contar con un amplio rango de herramientas para el proceso de planificación y revisión energética al aplicar la ISO 50001. Dentro de las herramientas citadas están: Los gráficos estadísticos de control; los diagramas de energía y producción en el tiempo; los diagramas de Paretos; los diagramas de energía y producción en el tiempo; los diagramas de dispersión y en particular en ellos aquellos diagramas con modelos de ajustes no lineales; los gráficos de CUSUM y CUSUM tabular.
5. La formulación de la línea base; línea meta y los indicadores de desempeño energético son herramientas de vital importancia en el Sistema de Gestión Energética a partir de la ISO 50001 y las mismas son de fácil logro a partir de las herramientas desarrolladas en la TGTEE.

Capítulo 3. Aplicación de las herramientas a usar en NC: ISO 50001 en la U.E.B Fábrica de Azúcar “Ciudad Caracas”.

3.1 Presentación de la U.E.B Fábrica de Azúcar “Ciudad Caracas”.

La U.E.B Fábrica de Azúcar “Ciudad Caracas” fue creada por la Resolución 222/2006 del Ministerio del Azúcar con domicilio legal en el batey del mismo nombre y está situada geográficamente en el municipio de Lajas, provincia de Cienfuegos. Limita al Norte con la U.E.B Ifraín Alfonso de VC, al sur con la U.E.B Elpidio Gómez, al Este con el municipio de Cruces, y al Oeste con la U.E.B 5 de Septiembre. Se localiza en la carretera a Lajas, a 4 kilómetros del poblado de igual nombre y a 46 kilómetros del municipio de Cienfuegos, y pertenece a la Empresa Azucarera Cienfuegos.

Con un promedio de producción de 2500 toneladas de caña molida por día, la U.E.B Fábrica de Azúcar “Ciudad Caracas” produce azúcar blanco directo y crudo para satisfacción de los requerimientos de los clientes del mercado nacional y exportable con un incremento progresivo en las ventas. La fábrica tiene montado un sistema de cogeneración de dos turbos generadores de 3000 kW a 6,3 kV que alimenta a las áreas productivas y el sistema de producción y cuando es necesario toma y entrega electricidad a la red nacional.

3.2 Política Energética.

La política que posee la U.E.B Fábrica de Azúcar es, *“Producir Azúcar Blanco Directo, Azúcar Crudo a costos competitivos para satisfacer el consumo interno y la exportación.”* Esta política responde a la venta de Azúcar Blanco y Azúcar Crudo a los clientes del mercado nacional e internacional. Con el peso que lleva los gastos energéticos de la fábrica, esta política no es apropiada a la naturaleza y magnitud de la organización porque no incluye su compromiso con el uso eficiente de los portadores energéticos.

Con la incorporación del NC ISO 50001: 2011 a la política establecido por la fábrica anteriormente se hace una nueva propuesta para la política:

“Producir Azúcar Blanco Directo, Azúcar Crudo de alta calidad a costos competitivos para satisfacer el consumo interno y la exportación usando eficientemente energías renovables, logrando la mejora continua del desempeño energético de nuestra fábrica.”

3.3 Presentación de datos recopilados.

Las tablas permiten, de forma organizada y centralizada, presentar todos los datos de consumo por tipo de fuente energética. Éstas pueden estar alimentadas por los datos suministrados por la compañía de energía o por mediciones realizadas directamente por la organización, y tener diversas formas, según la disponibilidad de datos y necesidades de la misma. En lo esencial, deben posibilitar conocer cuánto, qué y cómo se consume la energía utilizada dentro del alcance y límites del SGEN, en el pasado y en el presente.

En caso de la U.E.B Fábrica de Azúcar, los datos están dados por turnos de trabajo de 7 a.m. y 7 p.m., los cuales contienen la cantidad de unidades de caña molida, generación total, generación del generador 1 y del generador 2, consumo total del SEN, consumo de reactivo, entrega energía al SEN, entrega de reactivo, % de autoabastecimiento, índice de generación, índice de consumo e índice de entrega al SEN.

Con hojas de cálculo de *Microsoft Excel*, se pueden generar fácilmente gráficos a partir de los datos antes mencionados. Dichos gráficos ayudan a mostrar visualmente los comportamientos de los datos, lo que facilita enormemente su comprensión por todos los niveles de la organización. Con el uso del software *Microsoft Excel*, se pueden filtrar los datos necesarios para realizar el análisis de los gráficos. Un ejemplo de los datos filtrados está en la Tabla 3.0.

Tabla 3.0 Ejemplo de la hoja de cálculos.

Período	Consumo Neto	Producción (Ton. de caña molida)	IC	$(x_i - \bar{x})^2$	LCS	LCI	$(x_i - \bar{x})^2$	LCS	LCI
8-Feb-13	125.81	3265.16	0.039	76159.44	4373.98	1604.40	1336.63	130.09	48.41

Cada columna contiene datos importantes, el periodo es la fecha en que se tomó la medición, el consumo es la cantidad de energía eléctrica que se utilizó ese día la cual se calcula de esta forma:

$$\text{Consumo Neto} = \text{Generación Total} - \text{Entrega Energía al SEN} + \text{Consumo Total del SEN}$$

(Ecuación 3.0)

La producción se representa en toneladas de caña molida al día. El IC es el índice de consumo, que se calcula $IC = E/P$ y las otras columnas representan variables útiles para realizar los gráficos de control, las cuales se encuentra en el Capítulo 2. Véase Anexo 4, 5 y 6.

3.4 Aplicación de las herramientas.

El proceso de planificación comienza por conocer en detalle la situación energética de la U.E.B Fábrica de Azúcar “Ciudad Caracas”, a partir de mediciones y análisis de todas las actividades y factores que afectan el desempeño energético. Esto posibilita identificar oportunidades de mejora y establecer los objetivos, metas y planes de acción para la mejora continua del desempeño energético, elementos centrales del sistema de gestión.

Dentro del proceso de planificación, la revisión energética implica la recolección y el análisis de un conjunto de datos para caracterizar la situación energética de la fábrica y ofrecer la información necesaria para soportar las otras actividades y decisiones de la etapa de planificación.

La revisión energética comprende los siguientes aspectos:

- Identificación de las fuentes de energía (portadores energéticos) utilizados.
- Análisis de su uso y consumo pasados.
- Análisis de su uso y consumo presentes.
- Determinación de los usos significativos de energía.
- Identificación de las variables relevantes que afectan los usos significativos de energía.

- Identificación y priorización de las oportunidades para la mejora del desempeño energético.

3.4.1 Revisión Energética.

3.4.1.1 Análisis del uso y del consumo de energía en la U.E.B Fábrica de Azúcar.

La calidad de los datos de la fábrica de azúcar es aceptable y permite describir de manera general en algunas ocasiones la situación pasada y presente del sistema energético de la organización. La cantidad de datos disponible debe cubrir como mínimo dos años de operación, en los cuales haya existido una operación estable sin cambios considerables en la organización pero en la U.E.B Fábrica de Azúcar, por causa de la pérdida de datos de los años anteriores al 2013, sólo se podrán utilizar los correspondientes a este año.

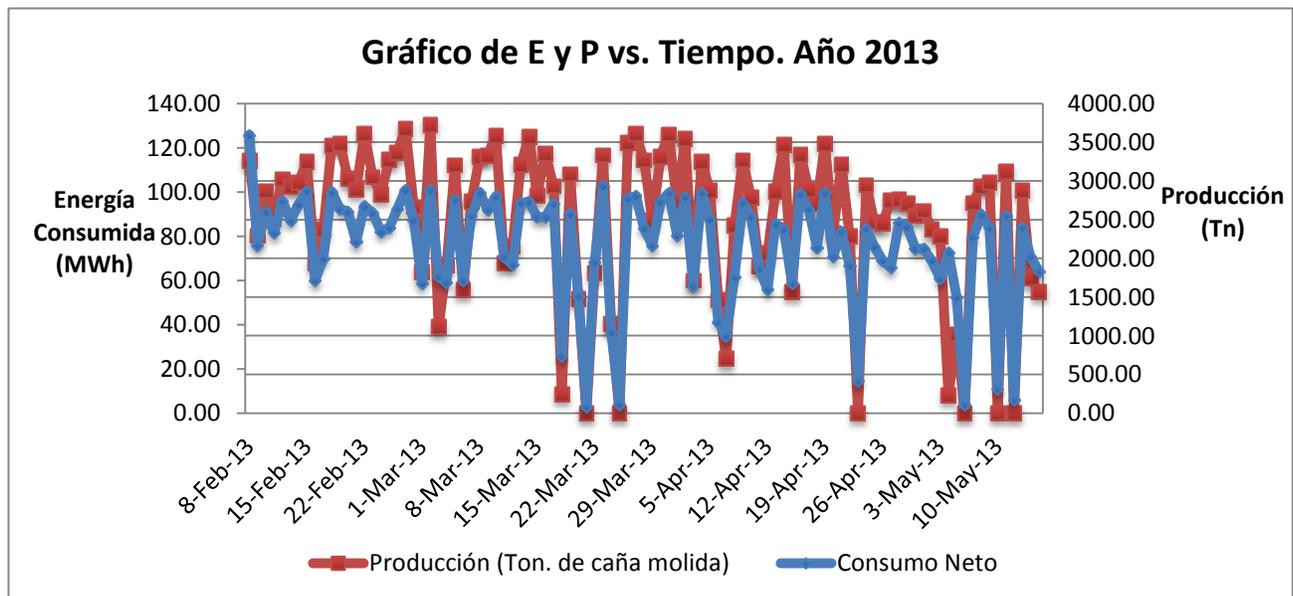


Figura 3.0: Gráfico de Consumo de energía y Producción vs. Tiempo. Año 2013.

(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura 3.0, se puede observar la variación simultánea del consumo energético y la producción en el tiempo. Se constata que los incrementos en el régimen de producción de caña molida están acompañados de un incremento en el consumo de energía eléctrica. Esto sucede de forma general no obstante, en el caso de los meses de marzo, abril y mayo este comportamiento se altera porque hay una parada en producción por causa de mantenimiento. Sin embargo, el comportamiento es uniforme y se puede decir que la muestra tiene validez.

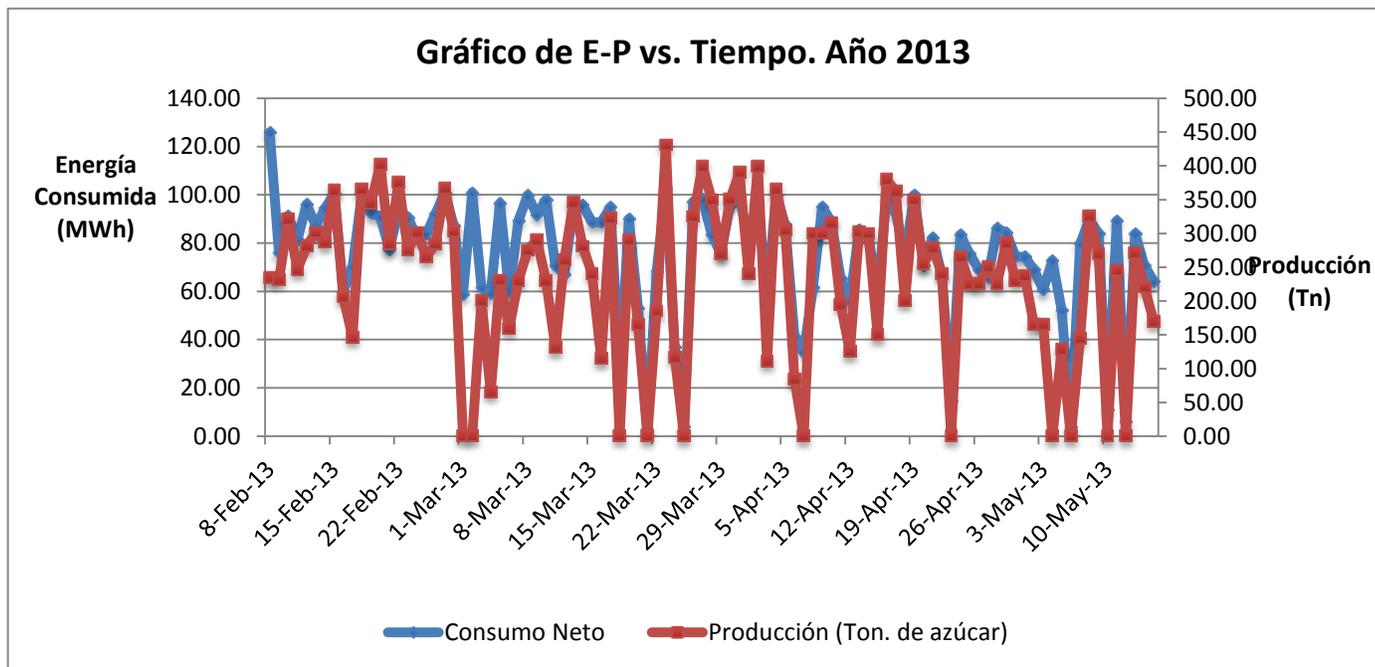


Figura 3.1: Gráfico de Consumo de energía y Producción vs. Tiempo. Año 2013.

(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura 3.1, se puede observar que hay anomalías en los primeros días de febrero y marzo el consumo energético no se corresponde con la producción de azúcar lo cual puede estar causado por actividades no asociadas al proceso productivo. Y también, en mayo se puede observar un momento en que la energía consumida no se corresponde a la producción de azúcar que puede estar determinado por tiempo de mantenimiento.

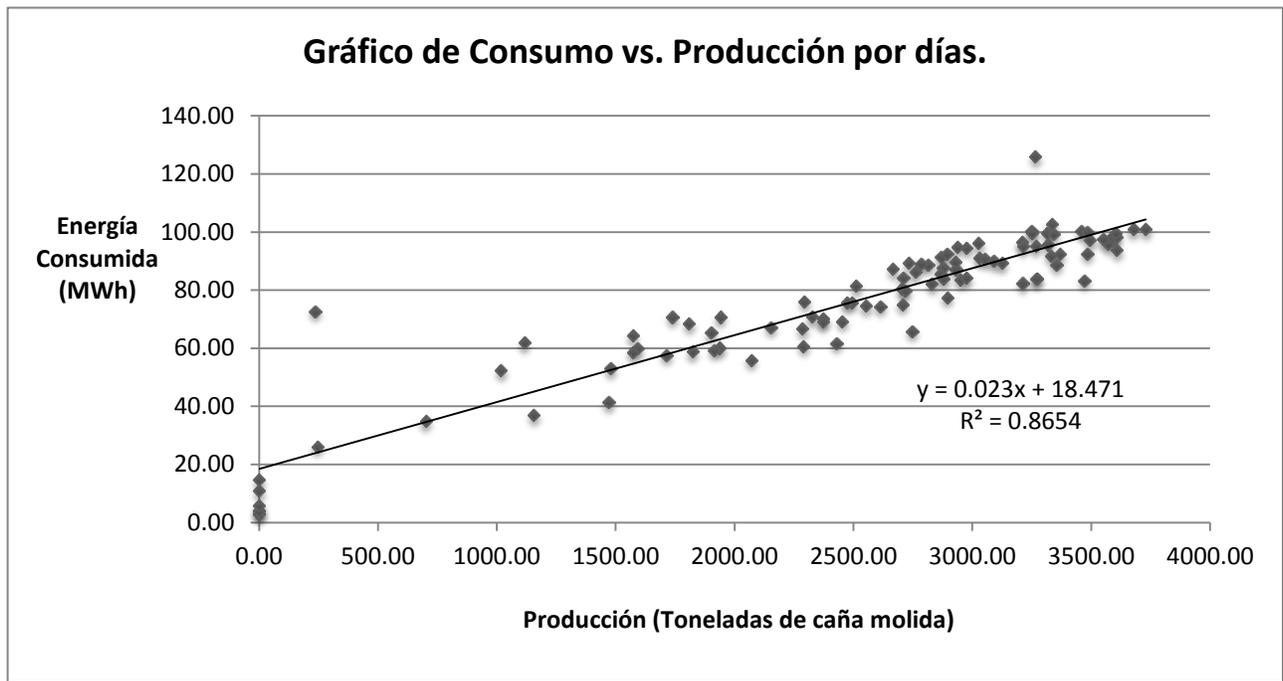


Figura 3.2: Gráfico de Consumo de Energía vs. Producción por días 2013. (Fuente: *Elaboración Propia*)

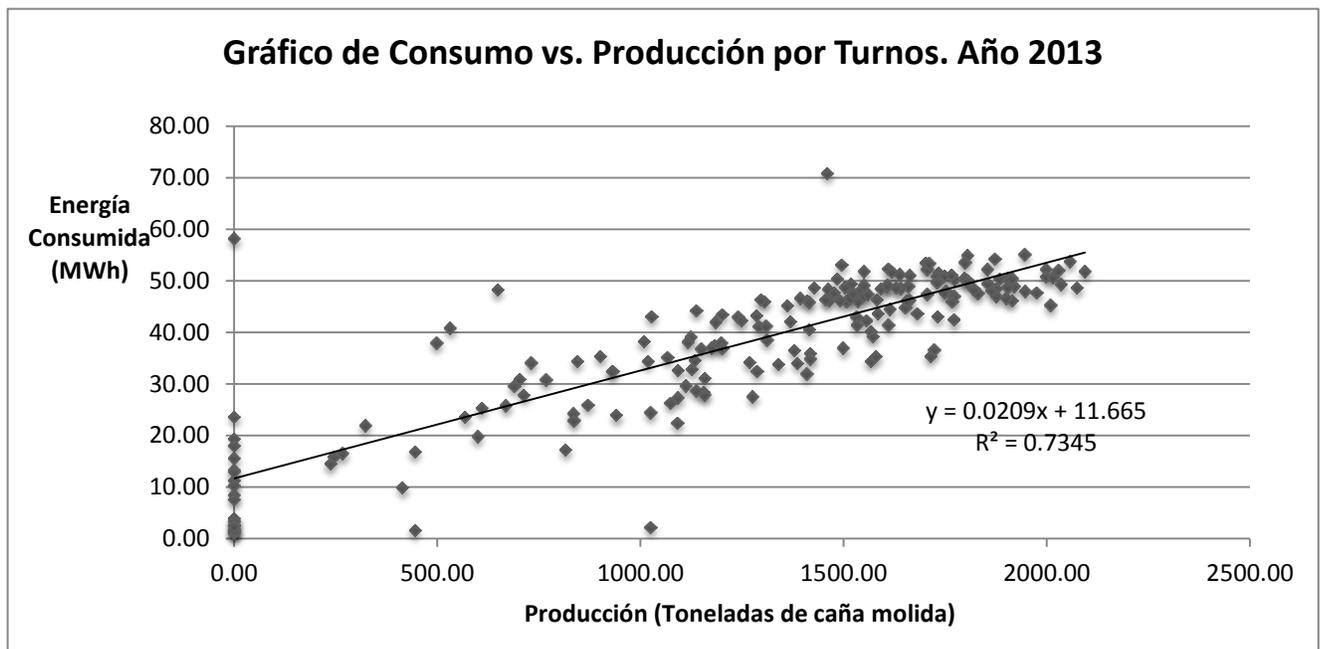


Figura 3.3: Gráfico de Consumo de Energía vs. Producción por Turnos. Año 2013. (Fuente: *Elaboración Propia*)

En la figura 3.2 se muestran los gráficos de dispersión – correlación del Consumo eléctrico diario vs. Toneladas de caña molida diario y en la figura 3.3 el Consumo eléctrico y la caña molida durante los dos turnos de trabajo y se observa un coeficiente de correlación de 0,8654 y 0,7345 respectivamente. El coeficiente de correlación de la zafra por día es fuerte lo cual implica que es adecuado pero el de la zafra por turno es débil. Las causas más frecuentes de la baja correlación entre energía y producción son errores en la medición o captación de los datos primarios o en su procesamiento, el consumo de energía en la empresa no es controlado adecuadamente y las prácticas de operación y mantenimiento están pobremente definidas y en el proceso productivo o de servicios se incluyen actividades que consumen energía y no se reflejan en la producción o servicios. Los porcentajes de energía no asociada directamente al nivel de producción son 24,32 % y 30,77% que son relativamente altos. Según el diagnóstico realizado las causas que inciden sobre esto son:

- La iluminación de la fábrica.
- La electricidad consumida por los equipos de las oficinas.
- Las áreas acondicionadas tanto de frío como de calefacción.
- La energía utilizada durante los servicios de mantenimiento.
- El procesamiento del jugo en fábrica que debe completar su proceso para la fabricación el azúcar.

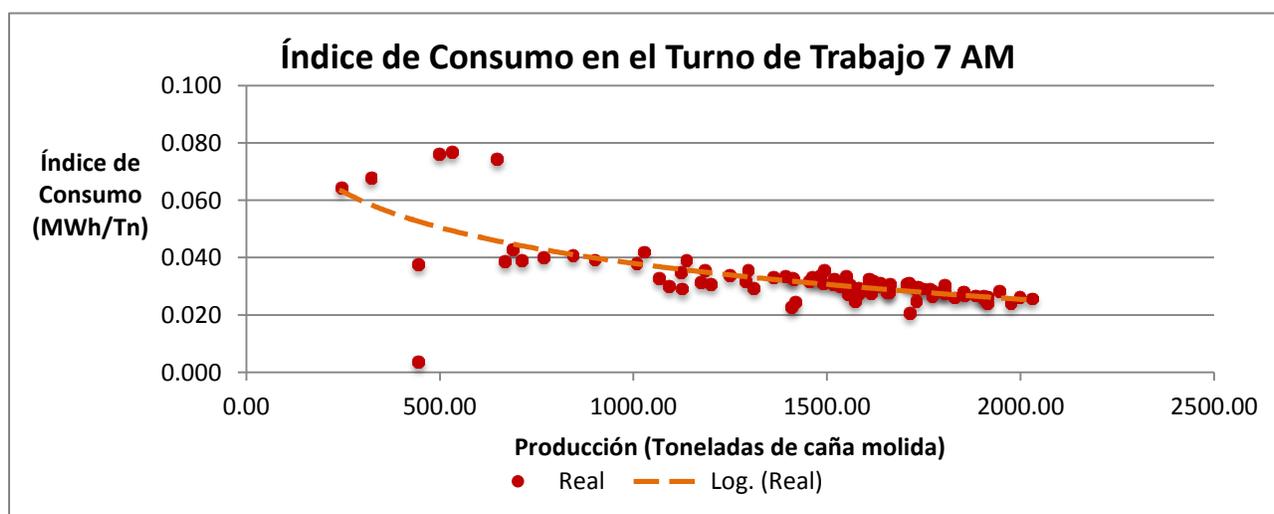


Figura 3.4: Diagrama de Índice de Consumo de Energía 2013. (Fuente: Elaboración Propia)

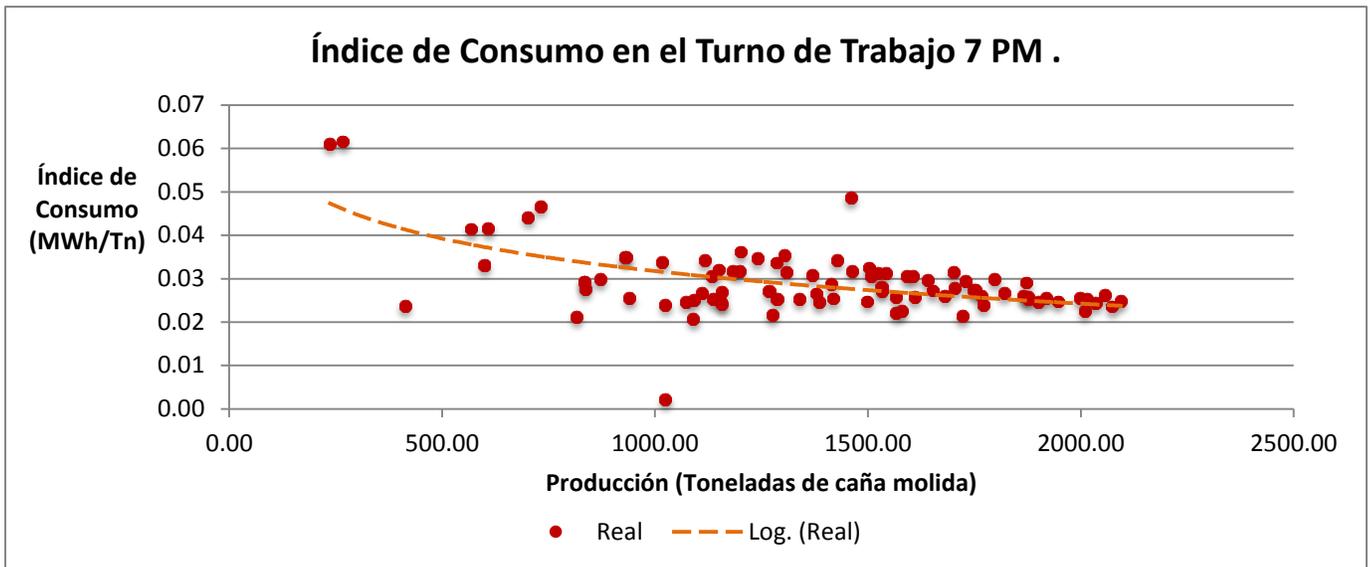


Figura 3.5: Diagrama de Índice de Consumo de Energía – Producción 2013. (Fuente: *Elaboración Propia*)

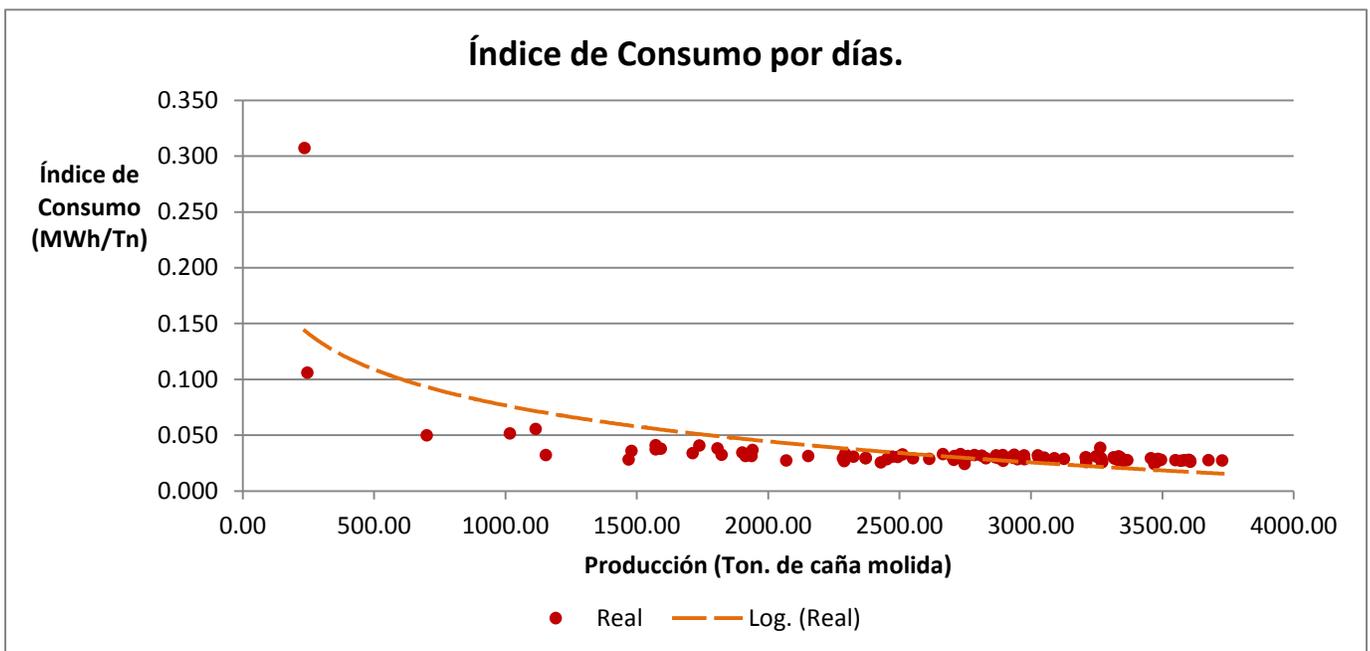


Figura 3.6: Diagrama de Índice de Consumo de Energía – Producción 2013. (Fuente: *Elaboración Propia*)

Las figuras 3.2 y 3.3 de correlación entre el consumo eléctrico y las toneladas de caña molida, así como las figuras 3.4, 3.5 y 3.6 que ofrecen los índices de consumo de energía, pueden usarse para definir líneas bases. En estos gráficos se presentan las líneas de tendencia que forman el índice de consumo y el nivel de producción, las cuales pueden considerarse como líneas de base energética. Los valores de los índices ubicados por debajo de estas líneas, indican una mejora en el desempeño energético, la cual será abordada en el resultado del proceso de la planificación energética más adelante.

3.4.1.2 Identificación de las áreas de uso significativo de la energía (USEn).

Para sistemas de gestión energética que se establecen e implementan por primera vez, es recomendable definir inicialmente pocos USEn para mantener la sencillez del sistema mientras se gana experiencia en su operación. En el caso de la Fábrica de Azúcar “Ciudad Caracas” que no tiene un sistema de gestión energética definitivo, se pueden definir inicialmente pocos usos significativos de la energía. Mientras más USEn se determinen, más complejo se volverá el sistema de gestión, y por tanto, demandará mayores recursos, lo que puede llegar a comprometer su mantenimiento. En el proceso de mejora continua del SGEN, se podrán identificar otros usos energéticos como significativos.

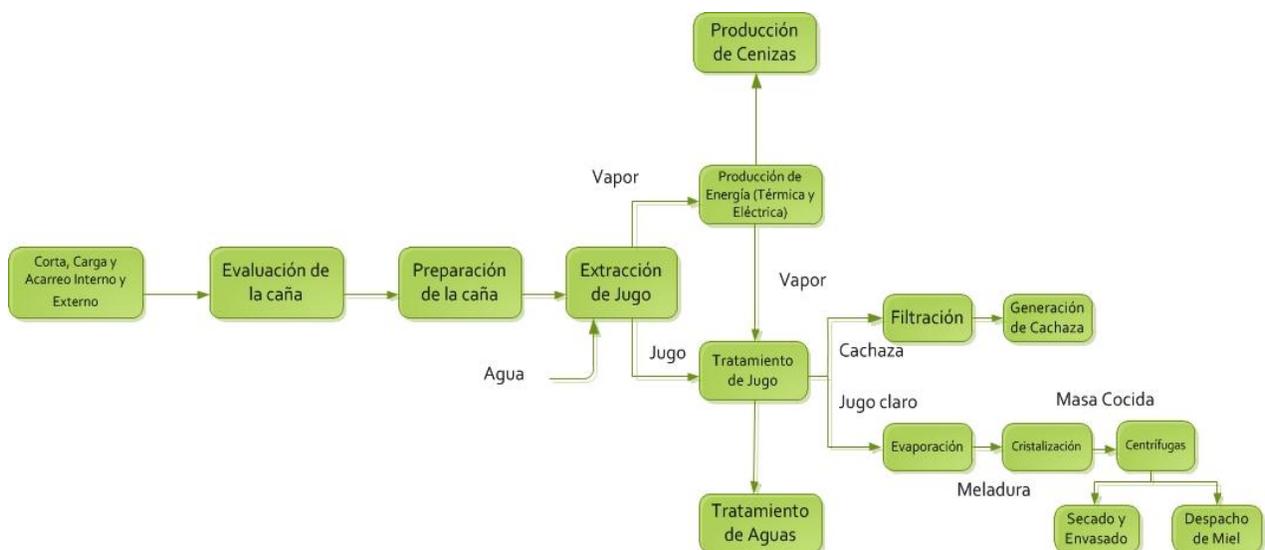


Diagrama Energético-Productivo de la Fábrica de Azúcar. (Fuente: Elaboración Propia)

La U.E.B Fábrica de Azúcar “Ciudad Caracas” comienza su proceso productivo con la extracción del jugo de caña, la evaporación del jugo claro por un múltiple efecto el cual da la meladura y la cristalización de la meladura en tachos donde continúa la evaporación del agua, lo que ocasiona la cristalización del azúcar, en los cuales los insumos principales son: vapor, electricidad, productos químicos y agua. El diagrama muestra el proceso energético- productivo de la empresa.

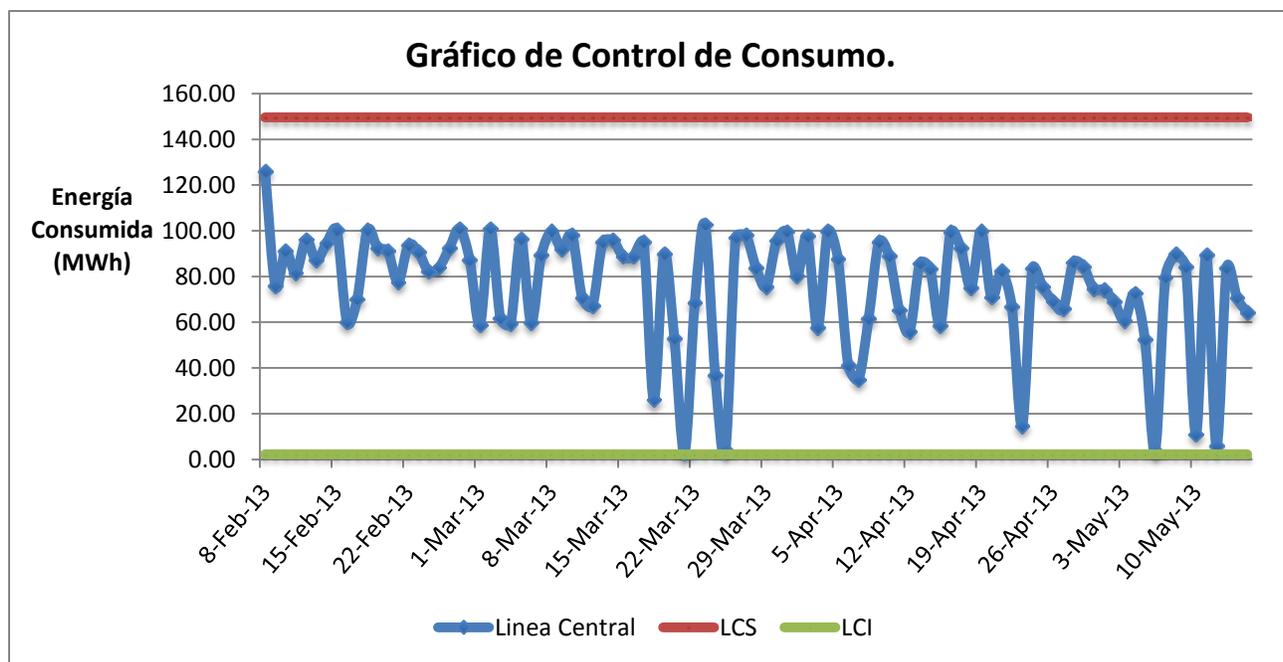


Figura 3.7: Gráfico de Control del año 2013. (Fuente: Elaboración Propia)

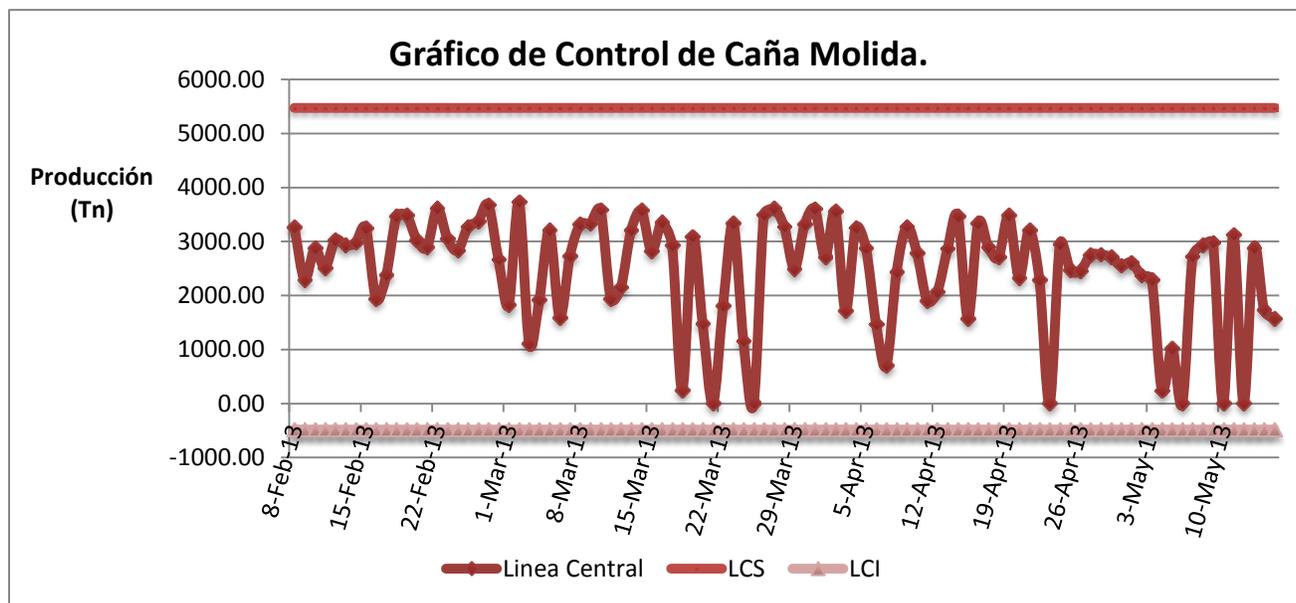


Figura 3.8: Gráfico de Control del año 2013. (Fuente: Elaboración Propia)

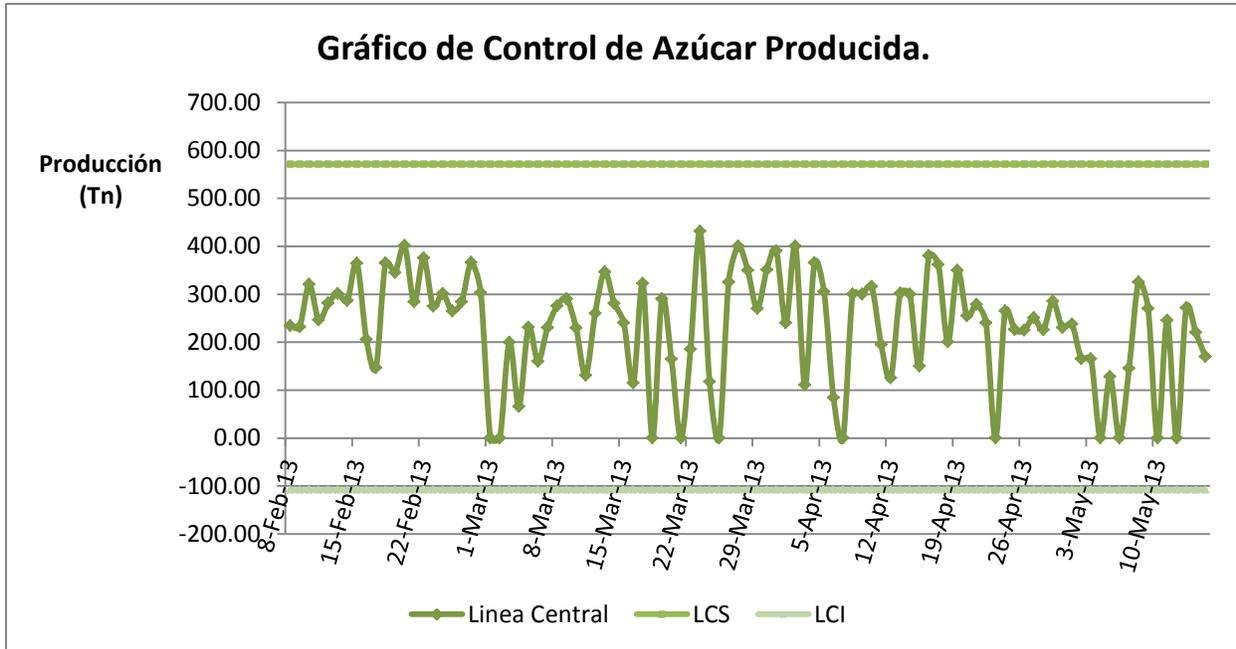


Figura 3.9: Gráfico de Control del año 2013. (Fuente: Elaboración Propia)

En las figura 3,7 a 3.9 se observan los gráficos de control de variables del proceso azucarero. Se ha utilizado el criterio de tres veces la desviación estándar como límites superiores e inferiores. El comportamiento de la energía consumida, como se observa en la figura 3.7, se encuentra bajo control. El consumo es estable encontrándose dentro de los límites establecidos como mínimo y máximo para el período correspondiente 2013. Existen meses cuando la energía consumida se encuentra en el límite de control inferior, como los meses de marzo y mayo, lo cual se explica porque durante este período se produjo una parada del proceso productivo.

El comportamiento de la producción de caña molida y azúcar, según muestran las figuras 3.8 y 3.9 respectivamente, están bajo control. Una vez establecidos los límites máximos y mínimos de esta variable podemos decir que el proceso es estable, al encontrarse todos sus puntos, dentro de los rangos determinados.

Existen meses, como sucede en marzo y mayo correspondiente a los gráficos de producción de caña molida y azúcar, en que se cayó a cero, debido a mantenimiento y reparación en la fábrica.

3.4.1.3 Identificación de oportunidades para mejorar el desempeño energético.

Personal clave para un mejor desempeño energético.

Como se puede observar, existen variables que pueden afectar el desempeño energético del proceso de producción de azúcar. Durante el periodo de fabricación del azúcar de caña del año 2013, hubo paradas en el proceso productivo por mantenimiento y reparaciones. También, hay momento en que la fábrica no está moliendo pero está consumiendo energía eléctrica lo cual implica una necesidad de monitorear esta variable.

Para una conjugación correcta de estos factores se necesita de personas claves con diferentes niveles de desempeño en el proceso aunque con igual importancia el servicio de cada uno.

- Director de la fábrica.
- Energético de la fábrica.
- Jefe Producción.
- Jefe Mantenimiento.
- Jefe de la planta eléctrica.

Uso de energías renovables en el proceso.

La Fábrica de Azúcar “Ciudad Caracas” es privilegiada ya que posee la posibilidad de obtener de la materia prima que procesa, el combustible necesario para su operación; el bagazo de caña, biomasa residual del proceso de extracción del jugo, la cual posee un elevado valor calórico y a su vez constituye un combustible renovable, así como los residuos agrícolas de la cosecha que constituyen una importante fuente de energía si se aprovechan con eficiencia.

La fábrica posee un sistema de cogeneración la cual produce 5,2 MW de energía eléctrica por el uso del bagazo de caña como combustible. La cogeneración es, hoy, la alternativa más eficiente de conversión de la energía primaria a energía útil, por lo que resulta una de las mejores opciones de conservación de energía orientada a lograr no sólo un desarrollo sustentable sino también la venta de energía eléctrica al SEN lo que mejora el desempeño de la fábrica.

3.4.2 Resultado del proceso de la planificación energética.

3.4.2.1 Línea base y meta energética.

La línea de base energética es la referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético para un período especificado en la U.E.B Fábrica de Azúcar “Ciudad Caracas”, donde las variables que intervienen en este periodo son:

- Energía Consumida (MWh).
- Producción de caña molida (Tn).

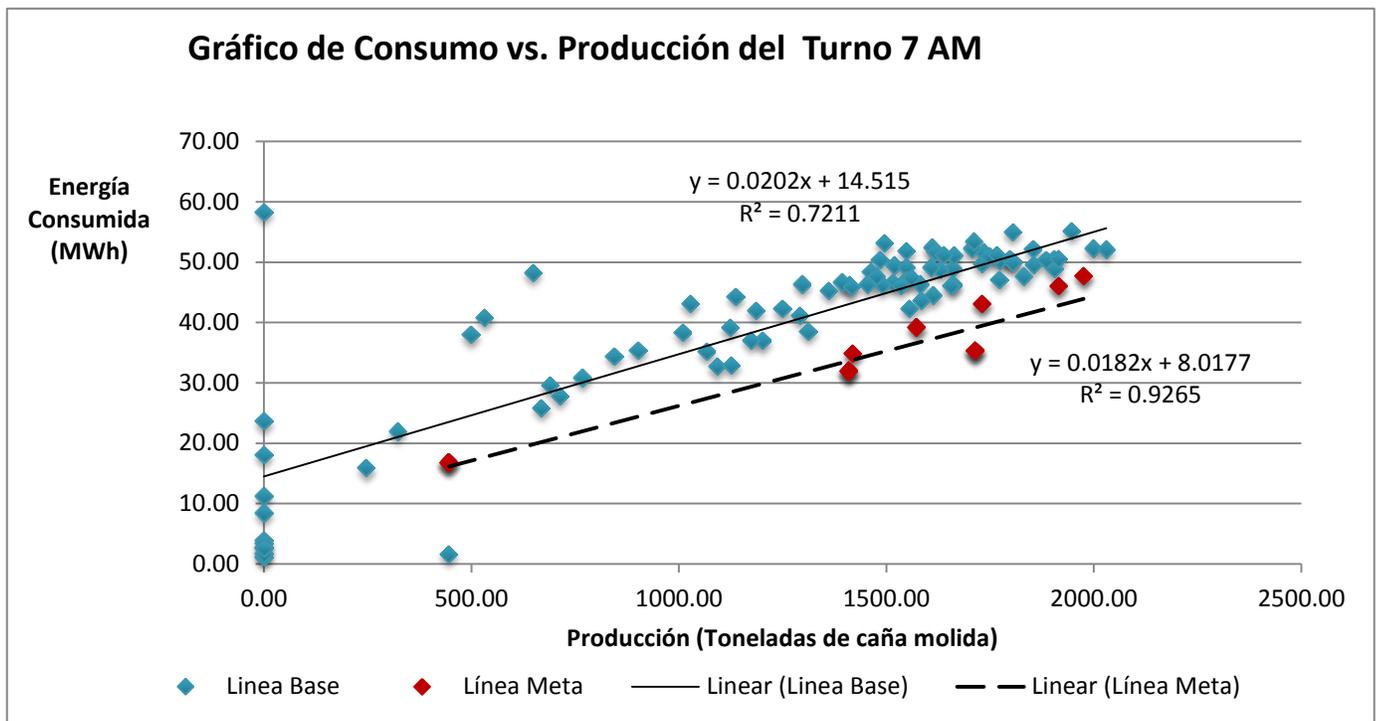


Figura 3.10: Gráfico de consumo y producción del turno 7 AM. (Fuente: Elaboración Propia)

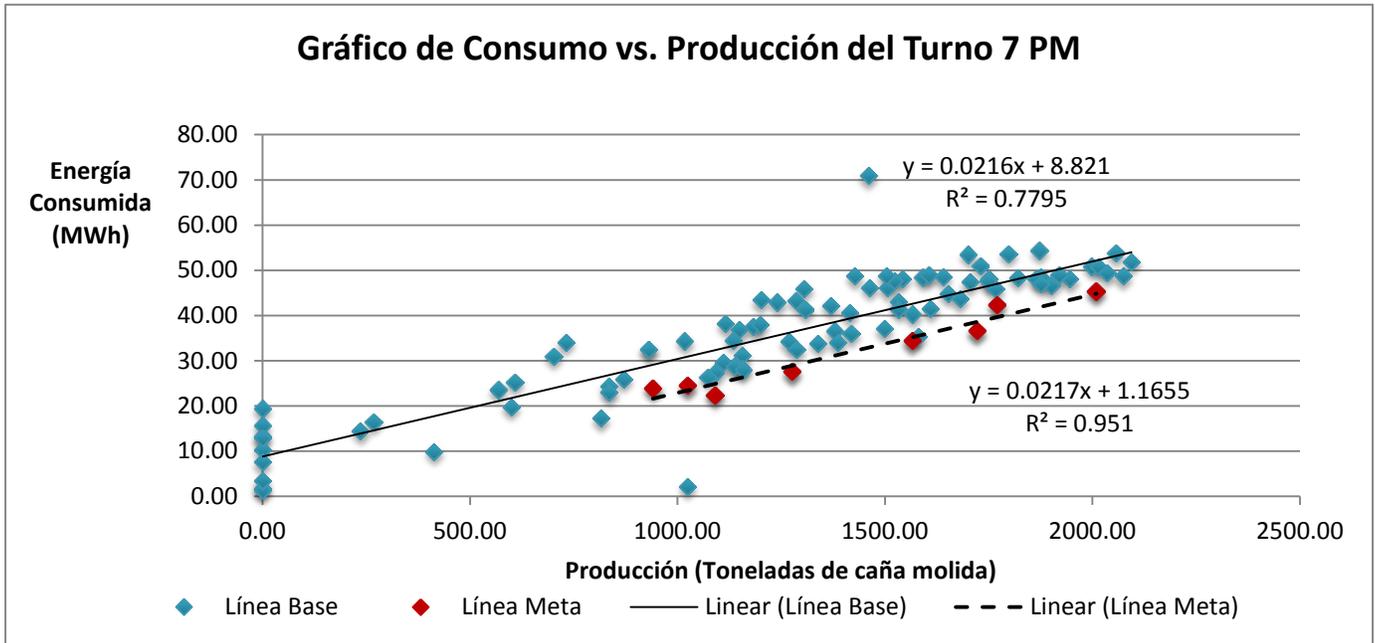


Figura 3.11: Gráfico de consumo y producción del turno 7 PM (Fuente: Elaboración Propia)

Como se puede observar se trazan líneas bases energéticas diferentes para cada turno de trabajo representadas en las figuras 3.10 y 3.11 respectivamente. Los turnos de trabajo permiten un mejor monitoreo del proceso de producción de caña molida y energía consumida. Se observa en la figura 3.10 del turno de las 7 AM un coeficiente de correlación de 0,7211 valor que se denota débil, también se obtuvo la línea de base $y = 0,0202x+14,515$, donde se refleja el consumo de energía no asociado a la producción que es de 14,515 MWh representando 36,24 % del consumo total. En la figura 3.11 del turno de las 7 PM se presenta un coeficiente de correlación de 0,7795 valor que denota fuerte, también se obtuvo la línea de base $y = 0,0216x+8,821$, donde se refleja el consumo de energía no asociado a la producción que es 8,821 MWh representando 24,67 % del consumo total.

La línea meta es el mejor desempeño energético observado en el análisis de regresión durante el periodo analizado (puntos en azul). En las figuras 3.10 y 3.11 se puede observar valores por debajo de la línea base (puntos rojos), los cuales constituyen periodos de alto desempeño. Las nuevas líneas que ajustan los puntos rojos, mostradas en las figuras 3.10 y 3.11, representan un nivel de desempeño más deseable para la organización, a partir de la cual puede establecerse una meta energética alcanzable si no se anuncian cambios estructurales durante el próximo periodo, donde se observa una correlación más alta que la correlación de la línea base y un consumo de energía no asociado a la producción menor.

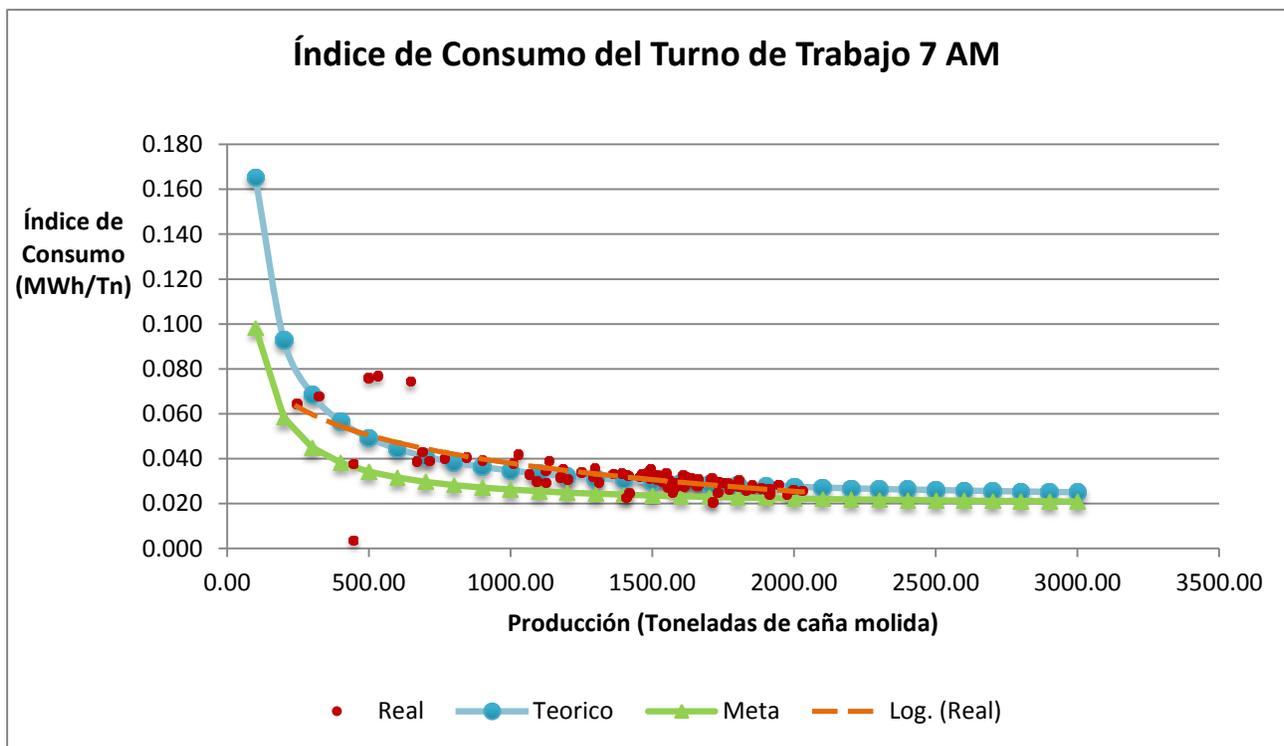


Figura 3.12: Gráfico de Índice de consumo del turno 7 AM. (Fuente: Elaboración Propia)

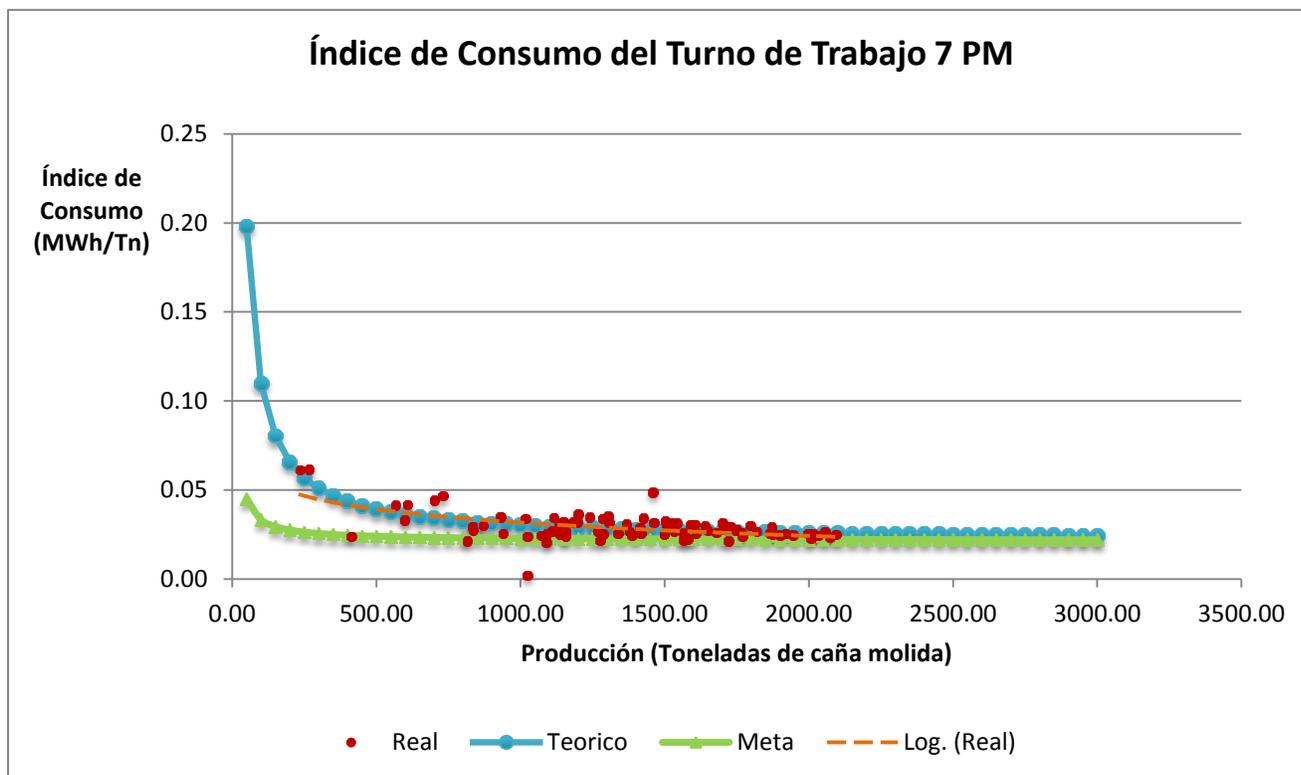


Figura 3.13: Gráfico de Índice de consumo del turno 7 PM. (Fuente: Elaboración Propia)

En las figuras 3.12 y 3.13, los índices de consumo específicos de energía también pueden usarse para definir líneas bases. En estos gráficos se presentan las líneas de tendencia que forman el índice de consumo y el nivel de producción, las cuales pueden considerarse como líneas de base energética, en los gráficos es línea denotada como *Real*. Los valores de los índices ubicados por debajo de estas líneas, indican una mejora en el desempeño energético, es decir pueden servir de meta para la fábrica.

Los gráficos anteriores constituyen valiosas herramientas para el control energético de la fábrica, dado que para un valor dado de molida se puede evaluar si el consumo de energía eléctrica que ha efectuado la empresa es adecuado o no.

3.4.3 Plan de Acción.

Una vez establecidos los objetivos y las metas energéticas, la ISO 50001 señala la necesidad de establecer, implementar y mantener planes de acción para poder alcanzarlos. La Norma define los parámetros que deben incluir los planes, entre los que

se destaca la declaración del método mediante el cual se verificará la mejora del desempeño energético y la definición del método para verificar los resultados.

Un ejemplo de la forma que puede tener y de la información que debe incluir, según la Norma, se presenta en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Propuesta para el Plan de Acción.

PLAN DE ACCIÓN PARA LA GESTIÓN DE LA ENERGÍA			
Objetivo: Reducir el consumo específico de energía.			Fecha inicial:
Meta: Garantizar la venta de productos y servicios con la máxima eficiencia.			Fecha de revisión:
Proyecto:			
Planeación del proyecto			
Acciones	Responsable	Fecha terminación	Recursos necesarios
Establecer el control energético de la fábrica de los turnos de trabajo.	Jefe Producción		
Actualizar regularmente la información de los portadores energéticos de la fábrica.	Energético de la fábrica.		
Plan de verificación de la meta			
Ítem		Necesidades de recursos/información	
Actualizar regularmente nuestra política energética y comunicarla a todo el personal para su participación consciente en la mejora del desempeño energético.		Información de los portadores energéticos.	
Resultados reales/Comentarios:			
Preparado por: Energético de la fábrica.		Fecha:	
Aprobado por:		Fecha:	

3.5 Nuevas herramientas aplicadas al central azucarero.

Como se observó en las figuras 3.10 y 3.11 para un nivel cero de molido o cercano a este valor existían consumos eléctricos que no coincidían con la forma lineal del modelo de mejor ajuste se pretende ver si hay otras formas de ajuste no lineal que pueden dar mejores modelos para el control de la variable energética.

3.5.1 Caracterización de procesos por data de *Monitoring and Targeting*.

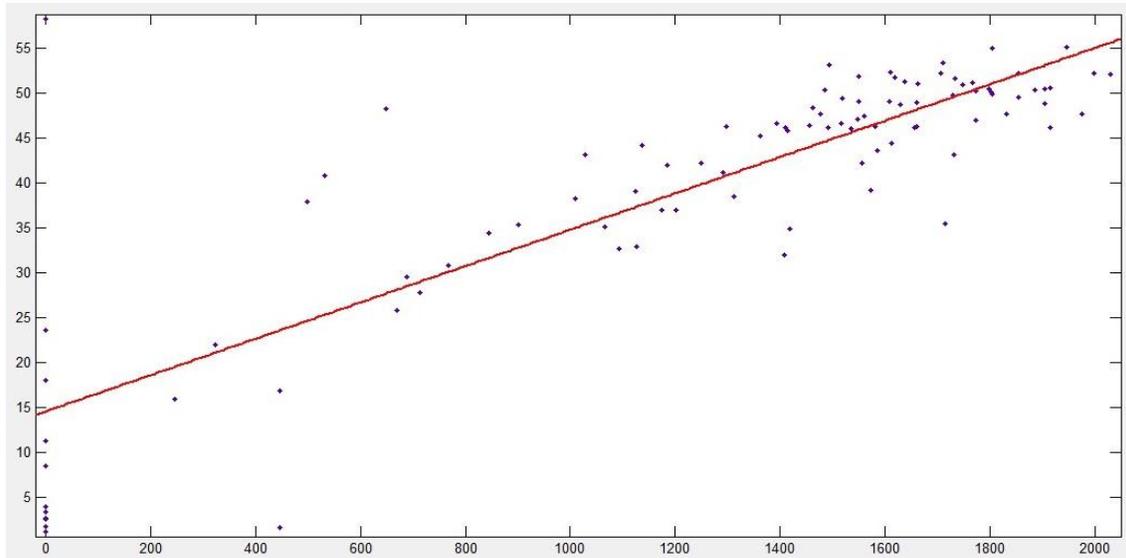


Figura 3.14: Gráfico de consumo y producción del turno 7 AM del software MATLAB de forma lineal. (Fuente: Elaboración Propia)

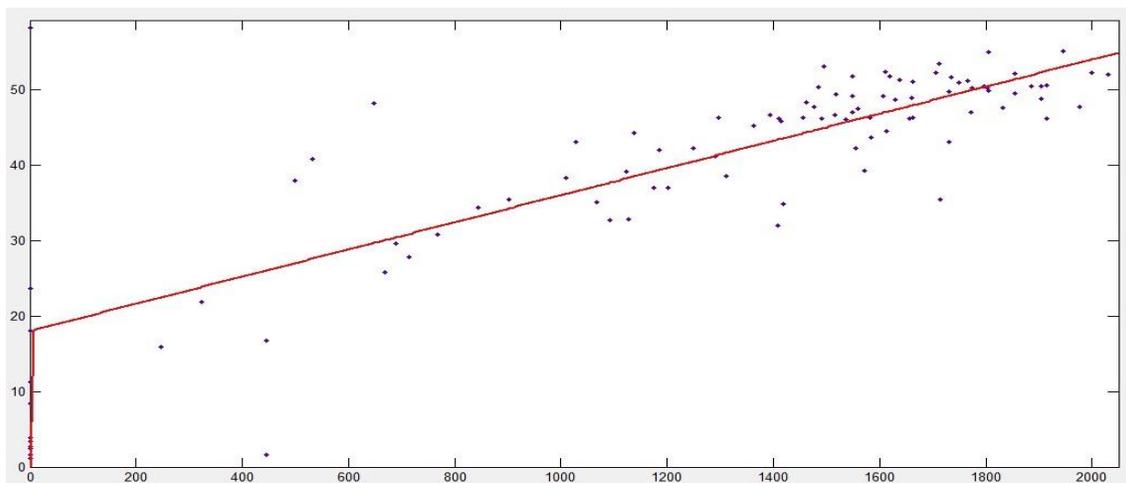


Figura 3.15: Gráfico de consumo y producción del turno 7 PM del software MATLAB de la ecuación exponencial. (Fuente: Elaboración Propia)

Utilizando el software *MATLAB R2010a*, se realizan las figuras 3.14 y 3.15 los cuales representan la energía consumida y la producción de caña molida durante el turno de trabajo 7 a.m. La figura 3.14 presenta un comportamiento lineal de mejor ajuste lo cual expresa en esta ecuación $y = 0.02025x + 14.52$ y un coeficiente de correlación de 0,7211. El comportamiento de la figura 3.15 utilizando la ecuación, $E = (1 - \exp^{-k.P}) \times (m.P + c)$, es poco irregular. La función de este tipo de gráfico es ver el comportamiento con respecto a la dispersión de puntos. La figura 3.15 brinda como resultado que $y = (1 - \exp^{-0,8768.x}) \times (0,01798.x + 18,03)$ y un coeficiente de correlación de 0,6463; es decir este gráfico es ineficiente.

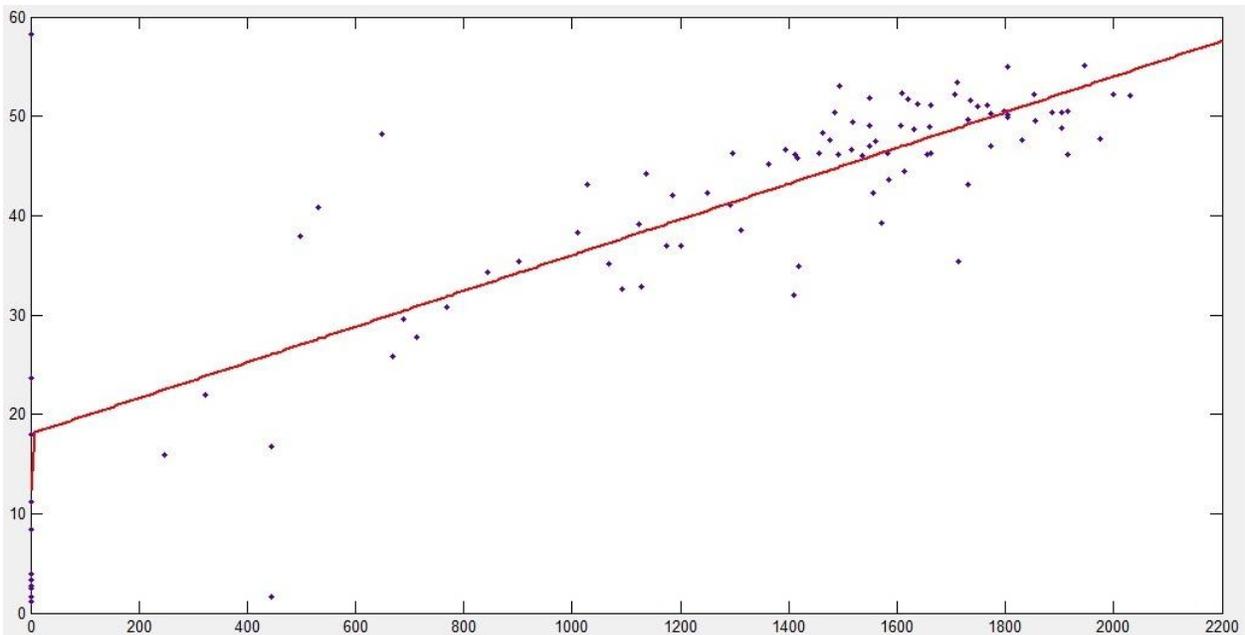


Figura 3.16: Gráfico de consumo y producción del turno 7 AM del software MATLAB de la ecuación modificada. (Fuente: Elaboración Propia)

Modificando la ecuación anterior para que el gráfico nos muestre el intercepto o la energía no asociada a la producción resultó ser $E = (1 - \exp^{-k.P}) \times (m.P + c) + b(\exp^{-k.P})$. La constante b es la energía no asociada a la producción. Utilizando *MATLAB R2010a*, la ecuación final es $y = (1 - \exp^{-0,8768.x}) \times (0,01798.x + 18,03) + 12.14(\exp^{-0,8768.x})$ y un coeficiente de correlación de 0,7282. La modificación mejora el coeficiente de correlación. Esta herramienta puede ser útil en los casos en que la dispersión de puntos se acerca a niveles de bajo consumo energético y producción.

Este tipo de gráfico puede presentar una línea base para dichos casos. En nuestro caso no es muy aplicable porque algunos de los puntos asociados al proceso productivo se encuentran en cero producciones (Círculo azul). Véase Figura 3.17.

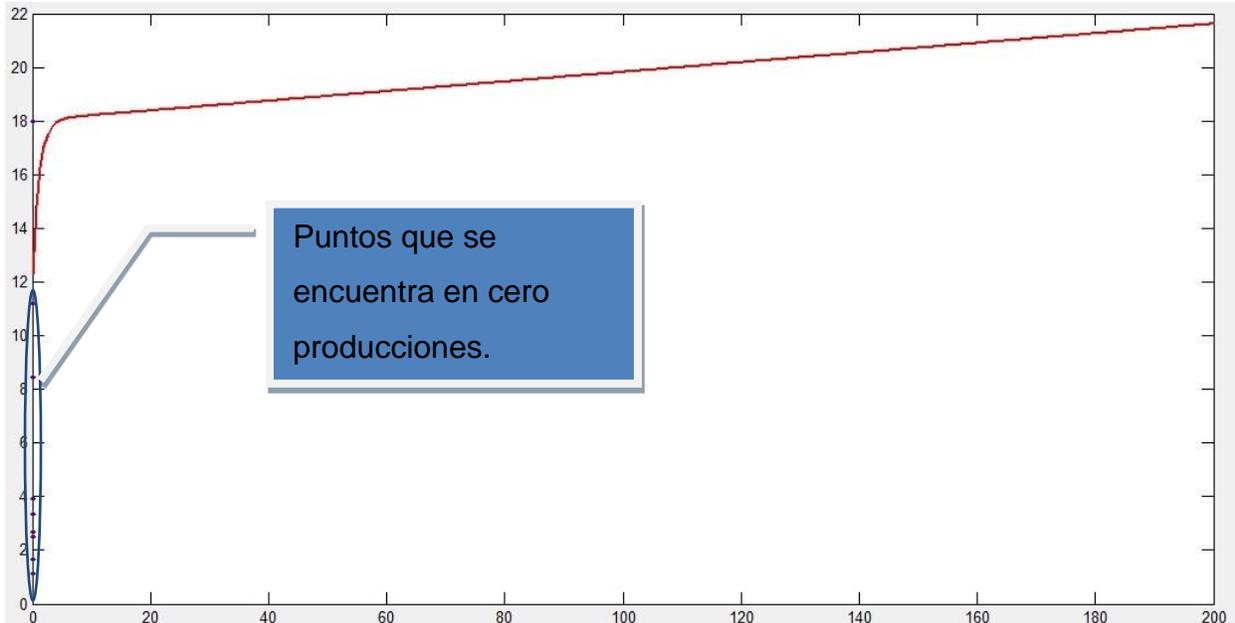


Figura 3.17: Gráfico de consumo y puntos en cero de producción. (Fuente: Elaboración Propia)

3.6 Definir sobre la fundamentación energética de mejor uso el conjunto de herramientas a usar en la NC: ISO 50001 de las centrales azucareros cubanos.

Del conjunto de herramientas a usar en la Norma Cubana ISO 50001 aplicable a la U.E.B Fábrica de Azúcar, sólo algunas pueden ser útiles en el presente estado de la fábrica. Las cuales son; análisis del uso y del consumo de energía a través de los gráficos de Consumo de energía y Producción vs. Tiempo, en los cuales se puede observar la variación simultánea del consumo energético y la producción en el tiempo, el diagrama de Consumo de Energía – Producción, donde se observa que el coeficiente de correlación y se ven las causas más frecuentes de la baja correlación entre energía y producción, y el diagrama de Índice de Consumo de Energía que puede usarse para definir la línea base.

Para sistemas de gestión energética que se establecen e implementan por primera vez, es recomendable definir inicialmente pocos USEn para mantener la sencillez del sistema mientras se gana experiencia en su operación. En el caso de la Fábrica de Azúcar “Ciudad Caracas” que no tiene un sistema de gestión energética definitivo, se puede definir inicialmente pocos usos significativos de la energía. Las herramientas que puedan ser útiles en este son el diagrama Energético-Productivo y el gráfico de control. Los gráficos de control son diagramas que permiten observar el comportamiento de una variable en función de ciertos límites establecidos, como procesos de producción. Se usan como instrumento de autocontrol y resultan muy útiles para detectar en cuáles fases del proceso analizado se producen las alteraciones.

La identificación de oportunidades para mejorar el desempeño energético, debe ser un proceso continuo para que pueda contribuir eficazmente al mejoramiento permanente del desempeño energético de la organización. Así que, las herramientas para mejorar el desempeño energético son el gráfico de consumo y producción lo cual permite encontrar la línea meta. Los índices de consumo específicos de energía también pueden usarse para definir líneas bases.

Algunas de las nuevas las herramientas puedan ser útiles como la caracterización de procesos por data de *Monitoring and Targeting* y el CUSUM tabular, sin embargo, en el caso de la U.E.B Fábrica de Azúcar la aplicación de la caracterización de procesos por data de *Monitoring and Targeting* no logra una diferencia entre los coeficientes de correlación en cuanto a la ecuación exponencial utilizada y la ecuación lineal. Es decir, la ecuación lineal resultó ser la más adecuada. Esta herramienta podría ser útil en otros casos que pueden observar una mejora en el coeficiente de correlación al usar la ecuación:

$$E = (1 - \exp^{-k.P}) \times (m.P + c) + b(\exp^{-k.P})$$

El CUSUM tabular solo puede ser útil en caso de que se tengan los datos recopilados en zafras anteriores y los correspondientes a la zafra en operación.

Conclusiones Parciales.

1. El análisis del sistema de gestión energético de la empresa azucarera “Ciudad Caracas” muestra que se controlan los portadores energéticos, pero no la eficiencia con que son usados, no se determinan indicadores de consumo que permitan un control energético y la actividad realizada no se sustenta en la filosofía del mejoramiento continuo.
2. El procesamiento de la información existente en la fábrica muestra que es posible establecer la línea de base energética, la línea meta y la definición de indicadores de desempeño energético a partir de dos base de datos, la correspondiente a la del control diario y la correspondiente a la información obtenida de los turnos de trabajo. Esta última presenta mayor exactitud para los cálculos.
3. Los coeficientes de correlación al relacionar los datos de consumo eléctrico vs. caña molida en los turnos muestra que es mayor el coeficiente cuadrático de correlación (R^2) en el turno de 7 p.m., ello puede estar dado por el cese de todas las actividades colaterales del central y toda la energía destinarse a la esfera productiva.
4. La línea meta es el mejor desempeño energético observado en el análisis de regresión durante el periodo analizado en las figuras 3.10 y 3.11 se puede observar valores por debajo de la línea base, los cuales constituyen periodos de alto desempeño y puede ser usados como línea meta de comportamiento

Conclusiones Generales.

1. El análisis de los sistemas de gestión energética desarrollados hasta el presente muestran que los mismos están sustentado en el ciclo planificar, hacer, verificar y actuar. Debe ser esta la forma de instrumentar cualquier sistema de gestión energética y que lamentablemente en los centrales azucareros cubanos la gestión de energía no sigue este proceso.
2. La revisión de la gestión energética en el central Ciudad Caracas muestra que los énfasis están en el control productivo y no en control de la eficiencia energética del proceso productivo.
3. Se concluye que las herramientas clásicas de gestión energética usadas en la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía pueden ser usadas con gran utilidad en el proceso de planificación y revisión energética al implementar la NC ISO 50001 en el central azucarero. Además de las herramientas clásicas usadas, se propone como herramientas posibles aplicar, el diagrama de dispersión correlación de modelo no lineal y el CUSUM tabular.
4. Se verificó que en el central azucarero el diagrama de dispersión correlación de modelo no lineal es menos preciso que el mismo diagrama de modelo lineal, esto no siempre debe comportarse de igual forma y debe ser comprobado durante los turnos operacionales.
5. Se comprueba que la forma más efectiva de control energética es a partir del control y gestión por turno de trabajo y que el turno de mejor comportamiento es el de las 7 p.m. Véase Anexo 9.
6. Debe prestarse atención a la energía consumida para niveles de molida cero porque en ocasiones llega a alcanzar valores superiores al 30%.

Recomendaciones.

1. Completar el estudio de las diferentes herramientas a utilizar en cada fase de la implementación de la NC ISO 50001 en un central azucarero.
2. Trabajar un indicador que no sólo implique la caña molida, sino también la producción de azúcar, vinculada al consumo energético.
3. Realizar estudios para la implementación de la ISO 50001 en la industria azucarera cubana.

Referencias Bibliográficas.

- Campo, A. P. (17 de Diciembre de 2012). Herramientas soporte para la planificación energética en sistemas de gestión de la energía según la Norma ISO. Cienfuegos, Cienfuegos, Republica de Cuba.
- Dias, I. M. (1 de 2 de 2013). Sistema Informático para el Monitoreo y Control Energético en el Sector Industrial basado ISO 50001. (SIMCEI 1.0). Cienfuegos, Cienfuegos, República de Cuba.
- Efficiency, S. A. (1998). *Monitoring and Targeting in large companies*. Oxfordshire: Crown.
- Electrotécnicos, C. T. (2011). *Sistemas de Gestión de la Energía — Requisitos con orientación para su uso (ISO 50001:2011, IDT)* (1ra ed.). Vedado , La Habana, Cuba: ISO.
- Frers, C. (10 de Agosto de 2006). *Los problemas de la contaminación ambiental y humana*. Recuperado el 19 de Marzo de 2013, de Ecoportal: http://www.ecoportal.net/Temas_Especiales/Contaminacion/Los_problemas_de_la_contaminacion_ambiental_y_humana
- Frers, C. (11 de Agosto de 2007). *El problema de la contaminación ambiental*. Recuperado el 19 de Marzo de 2013, de De Igual a Igual.net: <http://www.deigualaiqual.net/es/derechos-humanos/61-medio-ambiente/1359-contaminacion-ambiental>
- INICA, I. N. (s.f.). *Cubagov*. Obtenido de www.cubagov.cu/azucar
- Johan Martínez, A. E. (2012). *Análisis Coyuntural 2005 - 2006*. Recuperado el 3 de Junio de 2013, de Sector Azucarero Colombiano, Asocaña: <http://www.asocana.org/StaticContentFull.aspx?SCid=142>
- Martínez, X. F. (2012). *Prospectiva de Petróleo Crudo 2012-2026*. México: Gobierno Federal.

- Monzón, J. A. (20 de 6 de 2012). *Herramientas para la Planificación y Revisión Energética según la Norma ISO50001 en procesos de producción y uso del vapor*. Cienfuegos, Cienfuegos, República de Cuba.
- Paneque, M. (2011). *Estado del Arte y Novedades de la bioenergía en Chile*. Chile.
- Standards, N. Z. (2007). *Energy Audit Manual*. En N. Z. Standards, *Energy Audit Manual* (pág. 187). New Zealand.
- Sven Teske, A. Z. (2007). *Revolución Energética, Perspectiva Mundial de la Energía Renovable*. Instituto DLR, Institute of Technical Thermodynamics, Department of Systems Analysis and Technology. Utrecht: Greenpeace International and EREC.
- Teyra, M. A. (s.f.). *Uso eficiente de las fuentes renovables de energía*. Recuperado el 3 de Junio de 2013, de Cubasolar: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/ecosolar/Ecosolar01/HTML/Articulo08.htm>
- Universidad Católica de Chile, M. e. (2010). *Mercados Energéticos*. Recuperado el 19 de Marzo de 2013, de web.ing.puc.cl: <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno10/eficiencia/EE.html>
- Wikipedia. (15 de Marzo de 2013). *Calentamiento global*. Recuperado el 19 de Marzo de 2013, de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Calentamiento_global
- Wikipedia. (9 de Marzo de 2013). *Energía Renovable*. Recuperado el 19 de Marzo de 2013, de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Energia_renovable
- Wikipedia. (11 de Marzo de 2013). *Recurso energético*. Recuperado el 19 de March de 2013, de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Recurso_energ%C3%A9tico
- Yanes, A. E. (2006). *Gestión Y Economía Energética*. Cienfuegos, Cienfuegos, República de Cuba.

Bibliografía.

- Campo, A. P. (17 de Diciembre de 2012). Herramientas soporte para la planificación energética en sistemas de gestión de la energía según la Norma ISO. Cienfuegos, Cienfuegos, Republica de Cuba.
- Dias, I. M. (1 de 2 de 2013). Sistema Informático para el Monitoreo y Control Energético en el Sector Industrial basado ISO 50001. (SIMCEI 1.0). Cienfuegos, Cienfuegos, República de Cuba.
- Efficiency, S. A. (1998). *Monitoring and Targeting in large companies*. Oxfordshire: Crown.
- Electric, S. (2012). *ISO 50001:Recomendaciones para su cumplimiento*.
- Electrotécnicos, C. T. (2011). *Sistemas de Gestión de la Energía — Requisitos con orientación para su uso (ISO 50001:2011, IDT)* (1ra ed.). Vedado , La Habana, Cuba: ISO.
- Frers, C. (10 de Agosto de 2006). *Los problemas de la contaminación ambiental y humana*. Recuperado el 19 de Marzo de 2013, de Ecoportal: http://www.ecoportal.net/Temas_Especiales/Contaminacion/Los_problemas_de_la_contaminacion_ambiental_y_humana
- Frers, C. (11 de Agosto de 2007). *El problema de la contaminación ambiental*. Recuperado el 19 de Marzo de 2013, de De Igual a Igual.net: <http://www.deigualaiigual.net/es/derechos-humanos/61-medio-ambiente/1359-contaminacion-ambiental>
- Giacone, E. (2008). Energy Management Techniques for Small- and Medium-Sized Companies (ESDA2006-95808). *Journal of Energy Resources Technology*, 7.
- Giacone, E. (2011). Energy efficiency measurement in industrial processes. *ELSEVIER*, 15.
- INICA, I. N. (s.f.). *Cubagov*. Obtenido de www.cubagov.cu/azucar

- Ireland, S. E. (2009). *Technical Guideline I.S. EN 16001:2009 Energy management systems – Requirements with guidance for use*. Wilton Park House, Wilton Place, Dublin 2, Ireland.
- Johan Martínez, A. E. (2012). *Análisis Coyuntural 2005 - 2006*. Recuperado el 3 de Junio de 2013, de Sector Azucarero Colombiano, Asocaña: <http://www.asocana.org/StaticContentFull.aspx?SCid=142>
- Lambert, I. I. (2011). *Caracterización Energética y Propuesta de Implementación de la Norma ISO 50001 a la Empresa Corrugadora "Windward Island Packaging Company Ltd. (WINERA) Sta. Lucia"*. Cienfuegos.
- Martínez, X. F. (2012). *Prospectiva de Petróleo Crudo 2012-2026*. México: Gobierno Federal.
- Monzón, J. A. (20 de 6 de 2012). *Herramientas para la Planificación y Revisión Energética según la Norma ISO50001 en procesos de producción y uso del vapor*. Cienfuegos, Cienfuegos, República de Cuba.
- Nordelo, D. A. (2013). *Recomendaciones metodológicas para implementación de sistemas de gestión de la energía según la Norma ISO 50001*. Cienfuegos.
- Paneque, M. (2011). *Estado del Arte y Novedades de la bioenergía en Chile*. Chile.
- Poveda, M. (Agosto de 2007). *Eficiencia Energética: Recurso No Aprovechado*. *OLADE*, 25.
- Standards, N. Z. (2007). *Energy Audit Manual*. En N. Z. Standards, *Energy Audit Manual* (pág. 187). New Zealand.
- Sven Teske, A. Z. (2007). *Revolución Energética, Perspectiva Mundial de la Energía Renovable*. Instituto DLR, Institute of Technical Thermodynamics, Department of Systems Analysis and Technology. Utrecht: Greenpeace International and EREC.

- Teyra, M. A. (s.f.). *Uso eficiente de las fuentes renovables de energía*. Recuperado el 3 de Junio de 2013, de Cubasolar: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/ecosolar/Ecosolar01/HTML/Articulo08.htm>
- Trust, C. (2001). *Monitoring and targeting, Techniques to help organisations*. United Kingdom.
- Universidad Católica de Chile, M. e. (2010). *Mercados Energéticos*. Recuperado el 19 de Marzo de 2013, de web.ing.puc.cl: <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno10/eficiencia/EE.html>
- Wikipedia. (15 de Marzo de 2013). *Calentamiento global*. Recuperado el 19 de Marzo de 2013, de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Calentamiento_global
- Wikipedia. (9 de Marzo de 2013). *Energía Renovable*. Recuperado el 19 de Marzo de 2013, de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Energia_renovable
- Wikipedia. (11 de Marzo de 2013). *Recurso energético*. Recuperado el 19 de March de 2013, de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Recurso_energ%C3%A9tico
- Yanes, A. E. (2006). *Gestión Y Economía Energética*. Cienfuegos, Cienfuegos, República de Cuba.
- Yanes, J. P. (2005). *Herramientas para la Gestión Energética Empresarial*. Colombia.

Anexo.

Anexo 1. Tabla de herramientas para la planificación en la MSE 2000:2008.

Requisito	Objetivo del requisito	Herramientas
6.1 Gestión de la información energética	Identificar, recolectar, registrar y analizar la información necesaria para la gestión de la energía	No especificadas
6.2 Perfil energético	Revelar tendencias, anomalías, señales de precios, asignaciones de energía y costos.	
6.2.1 Seguimiento de datos energéticos	Recolectar y analizar el consumo y costo de fuentes energéticas, incluyendo el agua.	Gráficos, tablas, hojas de cálculo, software especializado.
6.2.2 Diagnóstico energético	Determinar el desempeño energético, regímenes de trabajo y de operación de equipos, sistemas y procesos relacionados con la energía.	Diagnósticos energéticos de todos los niveles (específicos para cada sistema energético), auditorías energéticas.
6.2.3 Usos significativos de la energía	Determinar los usos significativos a nivel organizacional para focalizar recursos. También puede incluir a personas.	Balances energéticos, análisis de Pareto, análisis de riesgo, sistemas de <i>ranqueo</i> , prioridades de costos, y otros.
6.2.4 Indicadores clave de desempeño	Desarrollar indicadores para realizar comparaciones de desempeño en diferentes periodos de tiempo.	Análisis de correlación estadística, técnicas de normalización.
6.2.5 Información externa	Considerar información externa que pueda facilitar o tener influencia en la gestión energética, como <i>benchmarks</i> sectoriales...	No especificadas
6.3 Requisitos legales y otros requisitos	Conocer los requisitos legales o de otro tipo que tengan relación con el uso de energía.	No especificadas
6.4 Objetivos, metas y planeación de proyectos	Generar estos elementos para garantizar la mejora continua en el desempeño energético.	Buenas prácticas por tecnologías de uso final.

Anexo 2. Tabla de herramientas para la planificación en la EN 16001.

Requisito	Objetivo del requisito	Herramientas
3.3.1 Identificación y evaluación de los aspectos energéticos		
3.3.1.a Identificar el consumo energético pasado y presente y sus factores energéticos, basándose en mediciones y otro tipo de datos	Identificar como se usa de la energía y que factores tienen influencia en ello. Establecer tendencias o cambios en el uso de la energía.	Gráficos, tablas, hojas de cálculo, software especializado, carta CUSUM, análisis de regresión.
3.3.1.b Identificar áreas de uso significativo	Establecer los aspectos energéticos y su efecto en el uso de la energía, para luego identificar el equipamiento, personal y los procesos que tienen un uso significativo de la energía.	Mapas de proceso, diagramas Sankey, modelos energéticos, análisis de Pareto, balances energéticos, mapeo de energía, encuestas de tecnologías de uso final.
3.3.1.c Identificar y priorizar oportunidades de mejora	Determinar oportunidades para reducir el consumo energético y ordenarlas según sus beneficios.	Auditorías energéticas, modelos energéticos, revisión de mejor tecnología disponible, análisis Pinch, análisis de causa raíz, benchmarking, <i>Lean manufacturing</i> , Seis Sigma.
3.3.1.d Estimar el consumo energético esperado durante el siguiente periodo	Planear el consumo energético para un siguiente periodo, tanto para medir el desempeño, como para establecer un presupuesto.	No especificadas
3.3.2 Requisitos legales y otros requisitos	Conocer y cumplir con todas las obligaciones legales y otros requisitos aplicables, relacionados con los aspectos energéticos.	No especificadas
3.3.3 Objetivos, metas y programas energéticos	Identificar y documentar objetivos y metas para la mejora de la eficiencia energética, así como los programas para ejecutarlos.	Análisis de regresión, análisis CUSUM, técnicas de control estadístico de procesos, análisis de carga base, revisión de mejor tecnología disponible.

Anexo 3. Tabla de herramientas para la planificación del modelo de Energy Star.

Requisito	Objetivo del requisito	Herramientas
2. Evaluar desempeño	Comprender el consumo pasado y presente de energía para identificar oportunidades de mejora en el desempeño energético y establecer una línea base.	
2.1 Recolección y gestión de datos	Recolectar información sobre el uso de la energía y hacer seguimiento a los datos en el tiempo. También incluye datos operacionales y de las instalaciones.	<i>Portfolio Manager, Energía Performance Indicator</i> , Tablas, gráficos, hojas de cálculo, software especializado, técnicas de normalización de datos.
2.2 Línea base y benchmarking	Determinar el punto de partida para la medición de la mejora. Comparar el desempeño energético entre instalaciones y competidores en el tiempo y priorizar las instalaciones con potencial de mejora.	No específica para la línea base. <i>Portfolio Manager</i> de Energía Star, <i>Energía Performance Indicator</i> .
2.3 Análisis y evaluación	Identificar los patrones y tendencias en el uso de la energía para comprender los factores que afectan en el desempeño energético e identificar opciones para reducir el consumo.	Perfiles de consumo energético, benchmarks, encuestas, lecciones aprendidas, auditorías energéticas, revisión de procedimientos operativos, diagnósticos energéticos.
3. Establecer objetivos	Establecer objetivos de desempeño a partir de los potenciales identificados.	<i>Benchmarks</i> , los resultados del paso anterior.
4. Crear plan de acción	Desarrollar un plan de acción para implementar los objetivos y las opciones de mejora identificadas.	Lluvia de ideas, mapas mentales para identificar sugerencias de cómo desarrollarlos.

Anexo 4. Tabla de Datos para la producción de caña molida y azúcar producida por día.

Período	Consumo Neto	Producción (Ton. de caña molida)	Producción (Ton. de azúcar)	IC	$(x_1 - \bar{x})^2$	$(x_1 - \bar{x})^2$	$(x_1 - \bar{x})^2$
8-Feb-13	125.81	3265.16	234.15	0.039	2486.02	593161.83	6.71
9-Feb-13	76.04	2294.00	231.93	0.033	0.01	40396.98	0.14
10-Feb-13	91.21	2868.95	320.70	0.032	232.87	139846.08	7945.94
11-Feb-13	81.42	2511.80	246.58	0.032	29.92	282.58	225.60
12-Feb-13	96.09	3027.19	281.41	0.032	405.62	283236.84	2485.02
13-Feb-13	87.09	2931.35	301.50	0.030	124.10	190410.05	4891.60
14-Feb-13	94.49	2975.55	286.92	0.032	343.73	230937.91	3064.73
15-Feb-13	100.35	3249.15	364.75	0.031	595.36	568757.31	17739.58
16-Feb-13	60.03	1937.40	206.10	0.031	253.45	310906.61	648.21
17-Feb-13	70.05	2373.27	146.73	0.030	34.81	14815.76	7196.13
18-Feb-13	100.17	3457.88	365.10	0.029	586.61	927157.15	17832.93
19-Feb-13	92.42	3483.25	345.10	0.027	271.26	976657.83	12891.33
20-Feb-13	91.07	3029.24	401.68	0.030	228.61	285423.06	28940.81
21-Feb-13	77.46	2895.65	284.30	0.027	2.28	160528.44	2781.51
22-Feb-13	93.62	3608.33	375.45	0.026	312.23	1239525.96	20704.33
23-Feb-13	90.56	3051.77	275.10	0.030	213.45	310003.97	1895.73
24-Feb-13	82.08	2829.59	301.69	0.029	37.58	111957.16	4918.22
25-Feb-13	83.96	3271.80	265.10	0.026	64.16	603433.78	1124.93
26-Feb-13	92.26	3368.32	284.45	0.027	266.02	762705.29	2797.78
27-Feb-13	100.89	3677.30	366.32	0.027	622.00	1397856.94	18161.34
28-Feb-13	87.24	2666.05	303.12	0.033	127.46	29261.52	5120.83
1-Mar-13	58.71	1823.47	0.00	0.032	297.22	450939.11	53620.03
2-Mar-13	100.93	3729.35	0.00	0.027	624.00	1523644.61	53620.03

3-Mar-13	61.74	1116.35	200.18	0.055	201.92	1900648.25	984.58
4-Mar-13	59.31	1914.51	65.60	0.031	276.89	336957.03	27543.05
5-Mar-13	96.38	3209.45	231.00	0.030	417.38	510453.09	0.31
6-Mar-13	59.83	1592.20	160.00	0.038	259.85	815029.78	5120.83
7-Mar-13	89.31	2732.95	230.10	0.033	178.49	56624.96	2.13
8-Mar-13	99.72	3315.39	275.32	0.030	565.01	673056.16	1915.11
9-Mar-13	91.83	3331.13	290.10	0.028	252.17	699130.10	3426.93
10-Mar-13	97.96	3584.83	230.00	0.027	484.44	1187751.23	2.43
11-Mar-13	70.68	1941.00	130.99	0.036	27.77	306904.92	10114.12
12-Mar-13	67.14	2153.15	260.52	0.031	77.62	116854.59	838.57
13-Mar-13	94.97	3213.25	346.50	0.030	361.76	515897.43	13211.20
14-Mar-13	95.78	3572.03	280.76	0.027	393.23	1160015.16	2421.03
15-Mar-13	88.67	2814.55	240.10	0.032	161.80	102118.59	72.93
16-Mar-13	88.70	3353.19	115.00	0.026	162.56	736507.24	13586.23
17-Mar-13	94.88	2937.37	322.80	0.032	358.34	195700.06	8324.74
18-Mar-13	26.10	246.55	0.00	0.106	2485.02	5055482.43	53620.03
19-Mar-13	89.91	3090.25	290.20	0.029	194.88	354334.47	3438.65
20-Mar-13	52.97	1480.29	164.80	0.036	528.08	1029616.09	4456.90
21-Mar-13	2.84	0.00	0.00	#DIV/0!	5345.07	6224975.10	53620.03
22-Mar-13	68.38	1808.10	185.20	0.038	57.30	471817.87	2149.25
23-Mar-13	102.63	3335.10	431.21	0.031	711.82	705784.81	39860.12
24-Mar-13	36.78	1155.25	117.30	0.032	1534.29	1794903.27	13055.35
25-Mar-13	4.00	0.00	0.00	#DIV/0!	5176.80	6224975.10	53620.03
26-Mar-13	97.08	3496.02	325.25	0.028	446.48	1002061.06	8777.82
27-Mar-13	98.10	3606.40	400.10	0.027	490.62	1235232.19	28405.73
28-Mar-13	83.64	3271.00	350.20	0.026	59.14	602191.52	14075.45
29-Mar-13	75.65	2494.00	270.15	0.030	0.09	0.98	1489.19
30-Mar-13	95.64	3318.85	350.95	0.029	387.70	678745.30	14253.97
31-Mar-13	99.54	3602.31	390.20	0.028	556.49	1226157.58	25166.65

1-Apr-13	80.26	2704.13	240.45	0.030	18.58	43739.54	79.03
2-Apr-13	97.54	3550.91	400.15	0.027	466.13	1114967.05	28422.59
3-Apr-13	57.55	1713.85	111.13	0.034	338.56	610179.70	14503.38
4-Apr-13	99.71	3252.25	365.50	0.031	564.54	573442.71	17939.92
5-Apr-13	87.61	2876.59	305.67	0.030	135.96	145618.56	5492.29
6-Apr-13	41.27	1469.97	84.20	0.028	1202.70	1050666.00	21714.97
7-Apr-13	34.87	702.10	0.00	0.050	1687.57	3214454.55	53620.03
8-Apr-13	61.67	2429.32	300.25	0.025	203.92	4312.55	4718.32
9-Apr-13	94.97	3267.97	300.30	0.029	361.76	597498.08	4725.19
10-Apr-13	88.87	2785.60	315.70	0.032	166.93	84454.17	7079.54
11-Apr-13	65.31	1902.30	195.10	0.034	113.21	351281.44	1329.33
12-Apr-13	55.91	2070.05	125.40	0.027	401.60	180574.00	11269.95
13-Apr-13	85.61	2866.67	302.20	0.030	93.32	138146.02	4990.01
14-Apr-13	83.22	3471.22	300.10	0.024	52.85	953025.01	4697.73
15-Apr-13	58.54	1572.35	150.30	0.037	303.11	851264.57	6603.19
16-Apr-13	99.20	3341.95	380.15	0.030	540.56	717341.24	22078.99
17-Apr-13	92.35	2893.90	362.10	0.032	268.96	159129.19	17040.69
18-Apr-13	75.06	2706.97	200.73	0.028	0.79	44935.52	950.49
19-Apr-13	99.81	3484.35	350.10	0.029	569.30	978833.21	14051.73
20-Apr-13	70.79	2326.05	254.95	0.030	26.63	28540.72	547.09
21-Apr-13	82.21	3211.25	278.95	0.026	39.19	513028.39	2245.81
22-Apr-13	66.62	2286.12	240.40	0.029	87.05	43626.68	78.15
23-Apr-13	14.62	0.00	0.00	#DIV/0!	3761.37	6224975.10	53620.03
24-Apr-13	83.46	2950.13	265.13	0.028	56.40	207152.42	1126.94
25-Apr-13	75.48	2473.00	226.15	0.031	0.22	483.56	29.27
26-Apr-13	69.14	2453.09	225.15	0.028	46.38	1755.61	41.09
27-Apr-13	65.78	2748.25	250.95	0.024	103.43	64140.63	375.97
28-Apr-13	86.11	2761.05	225.78	0.031	103.23	70787.92	33.41
29-Apr-13	84.25	2709.20	285.44	0.031	68.89	45885.92	2903.05

30-Apr-13	74.46	2552.78	230.39	0.029	2.22	3339.68	1.37
1-May-13	74.23	2613.74	237.65	0.028	2.96	14101.56	37.09
2-May-13	68.99	2371.71	165.10	0.029	48.44	15197.96	4416.93
3-May-13	60.72	2289.94	165.47	0.027	231.95	42045.50	4367.89
4-May-13	72.64	236.55	0.00	0.307	10.96	5100551.23	53620.03
5-May-13	52.31	1018.10	128.15	0.051	558.85	2181204.07	10693.63
6-May-13	3.74	0.00	0.00	#DIV/0!	5214.28	6224975.10	53620.03
7-May-13	79.63	2717.37	145.28	0.029	13.54	49452.86	7444.24
8-May-13	89.74	2928.75	325.50	0.031	190.16	188147.74	8824.72
9-May-13	84.05	2975.95	270.37	0.028	65.61	231322.52	1506.22
10-May-13	10.88	0.00	0.00	#DIV/0!	4234.10	6224975.10	53620.03
11-May-13	89.23	3126.20	245.68	0.029	176.36	398426.06	199.37
12-May-13	5.86	0.00	0.00	#DIV/0!	4912.61	6224975.10	53620.03
13-May-13	83.71	2879.50	271.80	0.029	60.22	147847.94	1619.26
14-May-13	70.61	1739.05	220.35	0.041	28.52	571445.28	125.66
15-May-13	64.22	1572.35	170.18	0.041	137.59	851264.57	3767.50
	<u>7366.92</u>	<u>242013.87</u>	<u>22461.07</u>		<u>57983.29</u>	<u>94555285.48</u>	<u>1231959.07</u>
	<u>75.95</u>	<u>2494.99</u>	<u>231.56</u>		<u>24.58</u>	<u>992.45</u>	<u>113.28</u>

Anexo 5. Tabla de Datos para la producción de caña molida por turnos de trabajo 7 AM.

Fecha	Turnos	Energía Consumida (MWh)	Producción (Ton. de caña molida)	IC Real	IC Teórico	IC Teórico Meto	Producción (Ton. De caña molida)
8-Feb-13	7:00 AM	54.94	1804.56	0.030	0.165	0.098	100.00
9-Feb-13	7:00 AM	32.64	1092.30	0.030	0.093	0.058	200.00
10-Feb-13	7:00 AM	45.22	1361.90	0.033	0.069	0.045	300.00
11-Feb-13	7:00 AM	27.81	713.20	0.039	0.056	0.038	400.00
12-Feb-13	7:00 AM	53.09	1494.50	0.036	0.049	0.034	500.00
13-Feb-13	7:00 AM	46.60	1515.90	0.031	0.044	0.032	600.00
14-Feb-13	7:00 AM	51.59	1734.50	0.030	0.041	0.030	700.00
15-Feb-13	7:00 AM	49.43	1518.70	0.033	0.038	0.028	800.00
16-Feb-13	7:00 AM	25.82	668.95	0.039	0.036	0.027	900.00
17-Feb-13	7:00 AM	50.26	1773.60	0.028	0.035	0.026	1000.00
18-Feb-13	7:00 AM	52.22	1705.55	0.031	0.033	0.025	1100.00
19-Feb-13	7:00 AM	47.61	1830.95	0.026	0.032	0.025	1200.00
20-Feb-13	7:00 AM	48.94	1659.64	0.029	0.031	0.024	1300.00
21-Feb-13	7:00 AM	50.15	1803.35	0.028	0.031	0.024	1400.00
22-Feb-13	7:00 AM	52.22	1998.30	0.026	0.030	0.024	1500.00
23-Feb-13	7:00 AM	50.36	1484.55	0.034	0.029	0.023	1600.00
24-Feb-13	7:00 AM	46.13	1410.75	0.033	0.029	0.023	1700.00
25-Feb-13	7:00 AM	46.99	1772.50	0.027	0.028	0.023	1800.00
26-Feb-13	7:00 AM	38.52	1311.42	0.029	0.028	0.022	1900.00
27-Feb-13	7:00 AM	47.69	1975.45	0.024	0.027	0.022	2000.00
28-Feb-13	7:00 AM	39.09	1123.80	0.035	0.027	0.022	2100.00
1-Mar-13	7:00 AM	42.24	1555.77	0.027	0.027	0.022	2200.00
2-Mar-13	7:00 AM	43.12	1731.05	0.025	0.027	0.022	2300.00

3-Mar-13	7:00 AM	23.60	0.00	#DIV/0!	0.026	0.022	2400.00
4-Mar-13	7:00 AM	46.12	1914.51	0.024	0.026	0.021	2500.00
5-Mar-13	7:00 AM	50.44	1904.00	0.026	0.026	0.021	2600.00
6-Mar-13	7:00 AM	11.21	0.00	#DIV/0!	0.026	0.021	2700.00
7-Mar-13	7:00 AM	51.81	1549.30	0.033	0.025	0.021	2800.00
8-Mar-13	7:00 AM	52.35	1609.79	0.033	0.025	0.021	2900.00
9-Mar-13	7:00 AM	50.46	1797.68	0.028	0.025	0.021	3000.00
10-Mar-13	7:00 AM	46.13	1490.65	0.031			
11-Mar-13	7:00 AM	38.25	1009.10	0.038			
12-Mar-13	7:00 AM	43.60	1584.50	0.028			
13-Mar-13	7:00 AM	46.61	1392.85	0.033			
14-Mar-13	7:00 AM	49.87	1805.07	0.028			
15-Mar-13	7:00 AM	41.11	1291.35	0.032			
16-Mar-13	7:00 AM	46.31	1582.14	0.029			
17-Mar-13	7:00 AM	46.32	1297.12	0.036			
18-Mar-13	7:00 AM	15.87	246.55	0.064			
19-Mar-13	7:00 AM	53.39	1711.20	0.031			
20-Mar-13	7:00 AM	21.90	322.90	0.068			
21-Mar-13	7:00 AM	1.15	0.00	#DIV/0!			
22-Mar-13	7:00 AM	40.81	531.85	0.077			
23-Mar-13	7:00 AM	48.32	1462.60	0.033			
24-Mar-13	7:00 AM	8.43	0.00	#DIV/0!			
25-Mar-13	7:00 AM	2.67	0.00	#DIV/0!			
26-Mar-13	7:00 AM	49.09	1549.30	0.032			
27-Mar-13	7:00 AM	49.71	1730.15	0.029			
28-Mar-13	7:00 AM	47.04	1548.55	0.030			
29-Mar-13	7:00 AM	50.39	1885.15	0.027			
30-Mar-13	7:00 AM	49.49	1855.00	0.027			
31-Mar-13	7:00 AM	52.15	1853.83	0.028			

1-Apr-13	7:00 AM	29.55	688.95	0.043			
2-Apr-13	7:00 AM	48.66	1630.21	0.030			
3-Apr-13	7:00 AM	35.40	1713.85	0.021			
4-Apr-13	7:00 AM	50.95	1748.60	0.029			
5-Apr-13	7:00 AM	55.13	1946.15	0.028			
6-Apr-13	7:00 AM	16.79	445.45	0.038			
7-Apr-13	7:00 AM	3.92	0.00	#DIV/0!			
8-Apr-13	7:00 AM	44.46	1613.47	0.028			
9-Apr-13	7:00 AM	46.26	1661.47	0.028			
10-Apr-13	7:00 AM	47.65	1476.95	0.032			
11-Apr-13	7:00 AM	30.80	767.75	0.040			
12-Apr-13	7:00 AM	46.12	1656.15	0.028			
13-Apr-13	7:00 AM	42.01	1185.12	0.035			
14-Apr-13	7:00 AM	48.81	1904.72	0.026			
15-Apr-13	7:00 AM	39.20	1572.35	0.025			
16-Apr-13	7:00 AM	50.54	1914.45	0.026			
17-Apr-13	7:00 AM	49.09	1607.60	0.031			
18-Apr-13	7:00 AM	51.14	1766.15	0.029			
19-Apr-13	7:00 AM	51.71	1619.00	0.032			
20-Apr-13	7:00 AM	32.85	1127.00	0.029			
21-Apr-13	7:00 AM	36.94	1201.50	0.031			
22-Apr-13	7:00 AM	37.00	1174.55	0.032			
23-Apr-13	7:00 AM	1.66	0.00	#DIV/0!			
24-Apr-13	7:00 AM	51.05	1663.20	0.031			
25-Apr-13	7:00 AM	51.23	1638.25	0.031			
26-Apr-13	7:00 AM	35.14	1066.80	0.033			
27-Apr-13	7:00 AM	31.96	1408.90	0.023			
28-Apr-13	7:00 AM	52.04	2029.50	0.026			
29-Apr-13	7:00 AM	47.44	1559.70	0.030			

30-Apr-13	7:00 AM	45.82	1415.20	0.032			
1-May-13	7:00 AM	46.33	1455.55	0.032			
2-May-13	7:00 AM	46.07	1535.36	0.030			
3-May-13	7:00 AM	34.84	1418.84	0.025			
4-May-13	7:00 AM	58.21	0.00	#DIV/0!			
5-May-13	7:00 AM	17.99	0.00	#DIV/0!			
6-May-13	7:00 AM	1.60	445.45	0.004			
7-May-13	7:00 AM	44.21	1137.05	0.039			
8-May-13	7:00 AM	43.10	1027.80	0.042			
9-May-13	7:00 AM	35.38	901.60	0.039			
10-May-13	7:00 AM	3.36	0.00	#DIV/0!			
11-May-13	7:00 AM	42.22	1249.70	0.034			
12-May-13	7:00 AM	2.49	0.00	#DIV/0!			
13-May-13	7:00 AM	34.35	844.30	0.041			
14-May-13	7:00 AM	48.23	648.35	0.074			
15-May-13	7:00 AM	37.94	498.75	0.076			

Anexo 6. Tabla de Datos para la producción de caña molida por turnos de trabajo 7 PM.

Fecha	Turnos	Energía Consumida (MWh)	Producción (Ton. de caña molida)	IC Real	IC Teórico	IC Teórico Meto	Producción (Ton. de caña molida)
8-Feb-13	7:00 PM	70.87	1460.60	0.05	0.198	0.045	50.00
9-Feb-13	7:00 PM	43.40	1201.70	0.04	0.110	0.033	100.00
10-Feb-13	7:00 PM	45.99	1507.05	0.03	0.080	0.029	150.00
11-Feb-13	7:00 PM	53.61	1798.60	0.03	0.066	0.028	200.00
12-Feb-13	7:00 PM	43.00	1532.69	0.03	0.057	0.026	250.00
13-Feb-13	7:00 PM	40.49	1415.45	0.03	0.051	0.026	300.00
14-Feb-13	7:00 PM	42.90	1241.05	0.03	0.047	0.025	350.00
15-Feb-13	7:00 PM	50.91	1730.45	0.03	0.044	0.025	400.00
16-Feb-13	7:00 PM	34.21	1268.45	0.03	0.041	0.024	450.00
17-Feb-13	7:00 PM	19.79	599.67	0.03	0.039	0.024	500.00
18-Feb-13	7:00 PM	47.95	1752.33	0.03	0.038	0.024	550.00
19-Feb-13	7:00 PM	44.81	1652.30	0.03	0.036	0.024	600.00
20-Feb-13	7:00 PM	42.14	1369.60	0.03	0.035	0.023	650.00
21-Feb-13	7:00 PM	27.32	1092.30	0.03	0.034	0.023	700.00
22-Feb-13	7:00 PM	41.40	1610.03	0.03	0.033	0.023	750.00
23-Feb-13	7:00 PM	40.21	1567.22	0.03	0.033	0.023	800.00
24-Feb-13	7:00 PM	35.95	1418.84	0.03	0.032	0.023	850.00
25-Feb-13	7:00 PM	36.98	1499.30	0.02	0.031	0.023	900.00
26-Feb-13	7:00 PM	53.73	2056.90	0.03	0.031	0.023	950.00
27-Feb-13	7:00 PM	53.47	1701.85	0.03	0.030	0.023	1000.00
28-Feb-13	7:00 PM	48.15	1542.25	0.03	0.030	0.023	1050.00
1-Mar-13	7:00 PM	16.47	267.70	0.06	0.030	0.023	1100.00
2-Mar-13	7:00 PM	50.79	1998.30	0.03	0.029	0.023	1150.00

3-Mar-13	7:00 PM	38.12	1116.35	0.03	0.029	0.023	1200.00
4-Mar-13	7:00 PM	13.20	0.00	#DIV/0!	0.029	0.023	1250.00
5-Mar-13	7:00 PM	45.94	1305.45	0.04	0.028	0.023	1300.00
6-Mar-13	7:00 PM	48.43	1592.20	0.03	0.028	0.023	1350.00
7-Mar-13	7:00 PM	37.51	1183.65	0.03	0.028	0.023	1400.00
8-Mar-13	7:00 PM	47.37	1705.60	0.03	0.028	0.023	1450.00
9-Mar-13	7:00 PM	41.35	1533.45	0.03	0.027	0.022	1500.00
10-Mar-13	7:00 PM	51.83	2094.18	0.02	0.027	0.022	1550.00
11-Mar-13	7:00 PM	32.45	931.90	0.03	0.027	0.022	1600.00
12-Mar-13	7:00 PM	23.54	568.65	0.04	0.027	0.022	1650.00
13-Mar-13	7:00 PM	48.36	1820.40	0.03	0.027	0.022	1700.00
14-Mar-13	7:00 PM	45.92	1766.96	0.03	0.027	0.022	1750.00
15-Mar-13	7:00 PM	47.57	1523.20	0.03	0.027	0.022	1800.00
16-Mar-13	7:00 PM	42.40	1771.05	0.02	0.026	0.022	1850.00
17-Mar-13	7:00 PM	48.56	1640.25	0.03	0.026	0.022	1900.00
18-Mar-13	7:00 PM	10.23	0.00	#DIV/0!	0.026	0.022	1950.00
19-Mar-13	7:00 PM	36.52	1379.05	0.03	0.026	0.022	2000.00
20-Mar-13	7:00 PM	31.07	1157.39	0.03	0.026	0.022	2050.00
21-Mar-13	7:00 PM	1.69	0.00	#DIV/0!	0.026	0.022	2100.00
22-Mar-13	7:00 PM	27.57	1276.25	0.02	0.026	0.022	2150.00
23-Mar-13	7:00 PM	54.30	1872.50	0.03	0.026	0.022	2200.00
24-Mar-13	7:00 PM	28.35	1155.25	0.02	0.026	0.022	2250.00
25-Mar-13	7:00 PM	1.33	0.00	#DIV/0!	0.025	0.022	2300.00
26-Mar-13	7:00 PM	47.99	1946.72	0.02	0.025	0.022	2350.00
27-Mar-13	7:00 PM	48.38	1876.25	0.03	0.025	0.022	2400.00
28-Mar-13	7:00 PM	36.61	1722.45	0.02	0.025	0.022	2450.00
29-Mar-13	7:00 PM	25.25	608.85	0.04	0.025	0.022	2500.00
30-Mar-13	7:00 PM	46.16	1463.85	0.03	0.025	0.022	2550.00
31-Mar-13	7:00 PM	47.65	1748.48	0.03	0.025	0.022	2600.00

1-Apr-13	7:00 PM	50.71	2015.18	0.03	0.025	0.022	2650.00
2-Apr-13	7:00 PM	48.88	1920.00	0.03	0.025	0.022	2700.00
3-Apr-13	7:00 PM	15.58	0.00	#DIV/0!	0.025	0.022	2750.00
4-Apr-13	7:00 PM	48.76	1503.65	0.03	0.025	0.022	2800.00
5-Apr-13	7:00 PM	32.48	930.44	0.03	0.025	0.022	2850.00
6-Apr-13	7:00 PM	24.48	1024.52	0.02	0.025	0.022	2900.00
7-Apr-13	7:00 PM	30.95	702.10	0.04	0.025	0.022	2950.00
8-Apr-13	7:00 PM	17.22	815.85	0.02	0.025	0.022	3000.00
9-Apr-13	7:00 PM	48.89	1606.50	0.03			
10-Apr-13	7:00 PM	41.22	1308.65	0.03			
11-Apr-13	7:00 PM	34.50	1134.55	0.03			
12-Apr-13	7:00 PM	9.80	413.90	0.02			
13-Apr-13	7:00 PM	43.61	1681.55	0.03			
14-Apr-13	7:00 PM	34.39	1566.50	0.02			
15-Apr-13	7:00 PM	19.34	0.00	#DIV/0!			
16-Apr-13	7:00 PM	48.67	1427.50	0.03			
17-Apr-13	7:00 PM	43.25	1286.30	0.03			
18-Apr-13	7:00 PM	23.92	940.82	0.03			
19-Apr-13	7:00 PM	48.11	1865.35	0.03			
20-Apr-13	7:00 PM	37.94	1199.05	0.03			
21-Apr-13	7:00 PM	45.29	2009.75	0.02			
22-Apr-13	7:00 PM	29.62	1111.57	0.03			
23-Apr-13	7:00 PM	12.96	0.00	#DIV/0!			
24-Apr-13	7:00 PM	32.41	1286.93	0.03			
25-Apr-13	7:00 PM	24.24	834.75	0.03			
26-Apr-13	7:00 PM	33.99	1386.29	0.02			
27-Apr-13	7:00 PM	33.82	1339.35	0.03			
28-Apr-13	7:00 PM	34.06	731.55	0.05			
29-Apr-13	7:00 PM	36.80	1149.50	0.03			

30-Apr-13	7:00 PM	28.65	1137.58	0.03		
1-May-13	7:00 PM	27.90	1158.19	0.02		
2-May-13	7:00 PM	22.93	836.35	0.03		
3-May-13	7:00 PM	25.88	871.10	0.03		
4-May-13	7:00 PM	14.43	236.55	0.06		
5-May-13	7:00 PM	34.32	1018.10	0.03		
6-May-13	7:00 PM	2.14	1024.52	0.00		
7-May-13	7:00 PM	35.41	1580.32	0.02		
8-May-13	7:00 PM	46.64	1900.95	0.02		
9-May-13	7:00 PM	48.66	2074.35	0.02		
10-May-13	7:00 PM	7.52	0.00	#DIV/0!		
11-May-13	7:00 PM	47.02	1876.50	0.03		
12-May-13	7:00 PM	3.38	0.00	#DIV/0!		
13-May-13	7:00 PM	49.35	2035.20	0.02		
14-May-13	7:00 PM	22.39	1090.70	0.02		
15-May-13	7:00 PM	26.27	1073.60	0.02		

Anexo 7. Gráficos de consumo de energía y producción en tiempo.

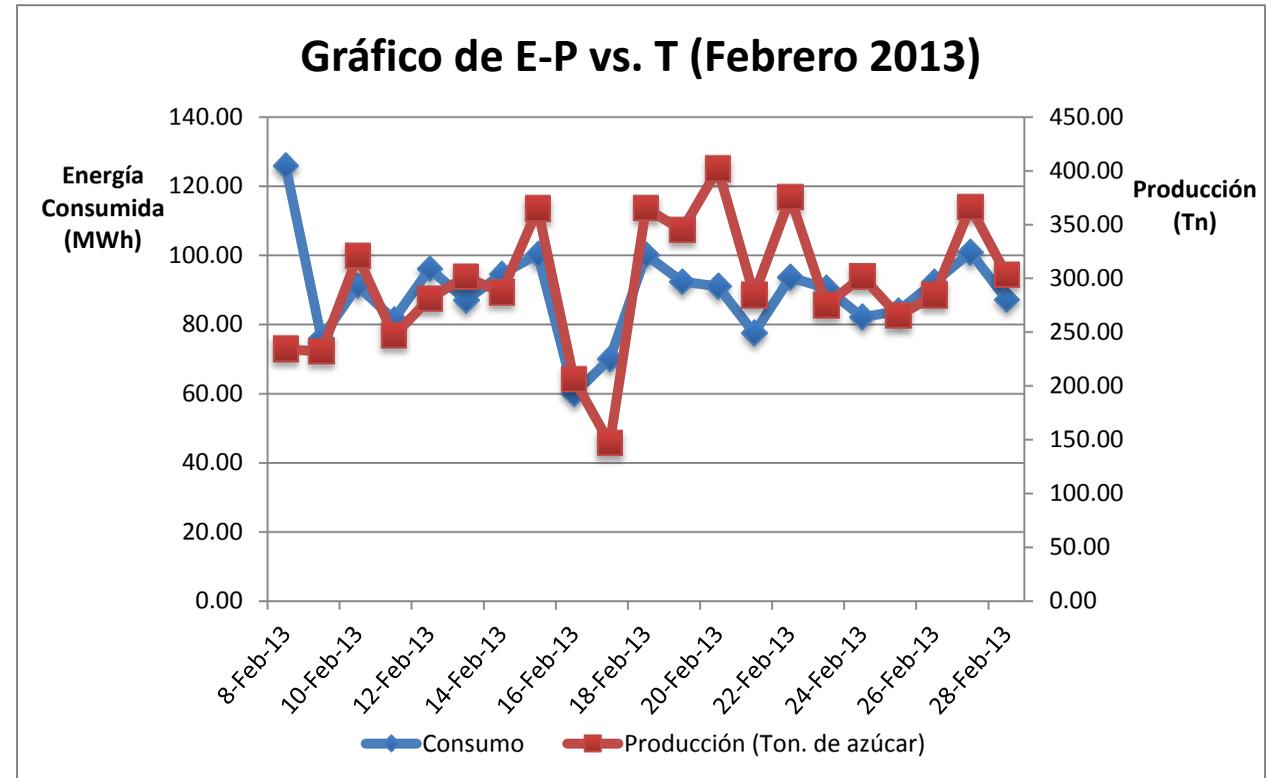
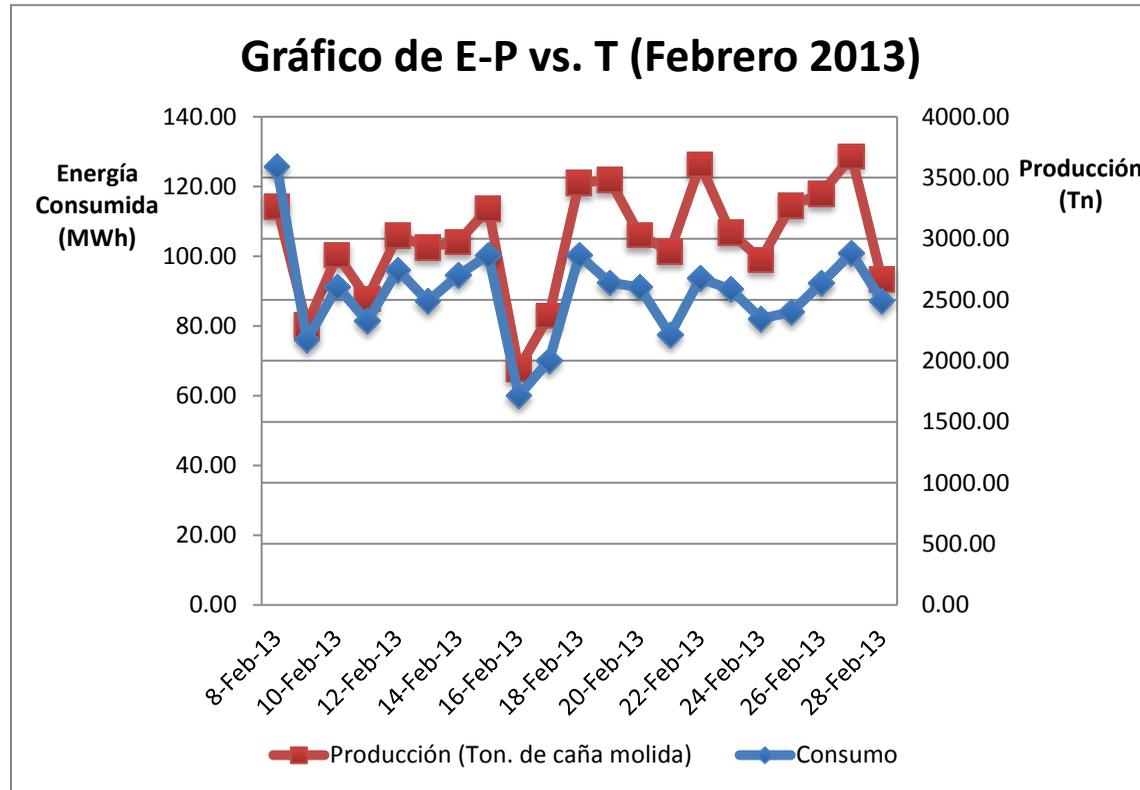


Gráfico de E-P vs. T (Marzo 2013)

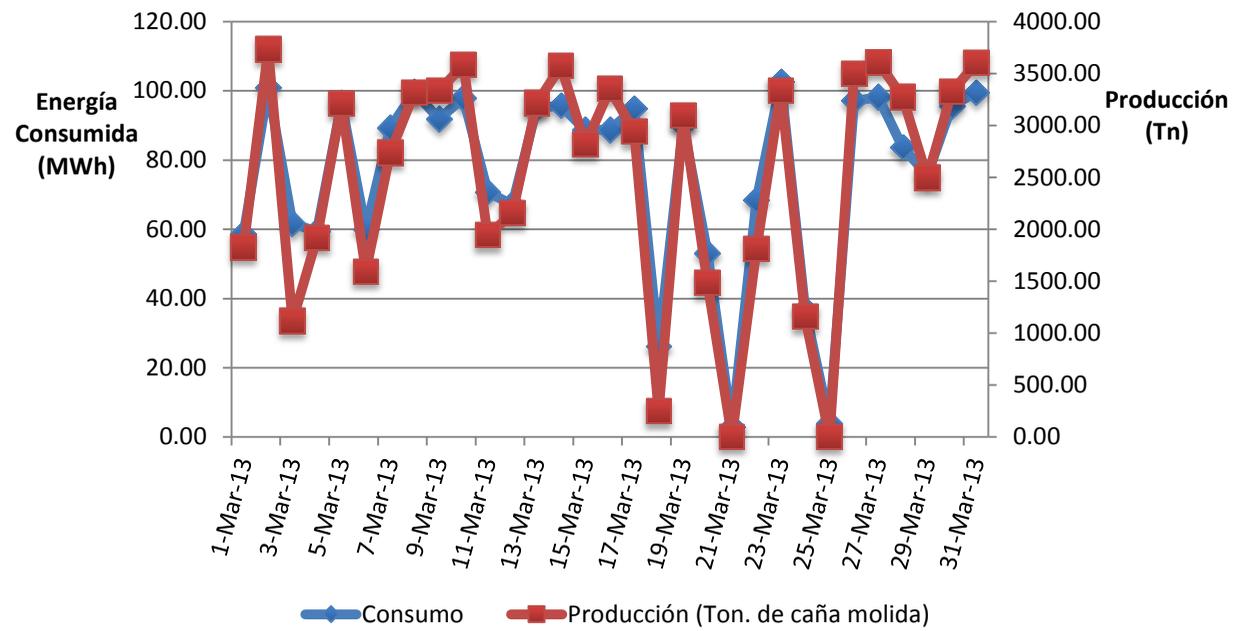


Gráfico de E-P vs. T (Marzo 2013)

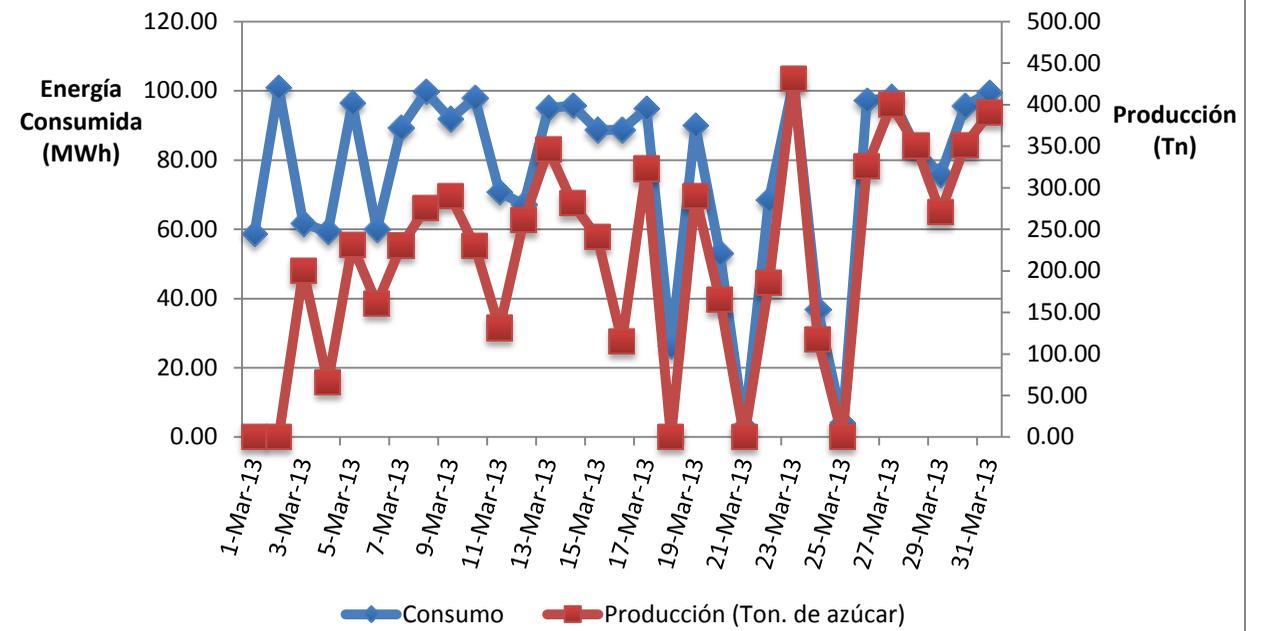


Gráfico de E-P vs. T (Abril 2013)

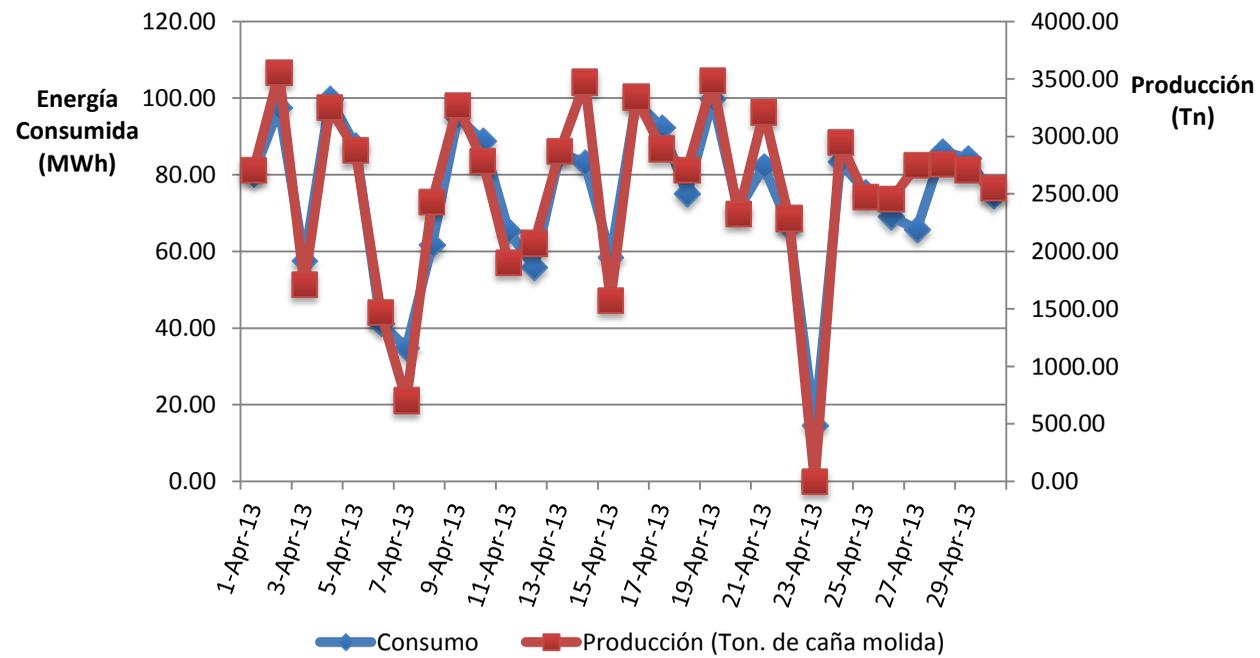


Gráfico de E-P vs. T (Abril 2013)

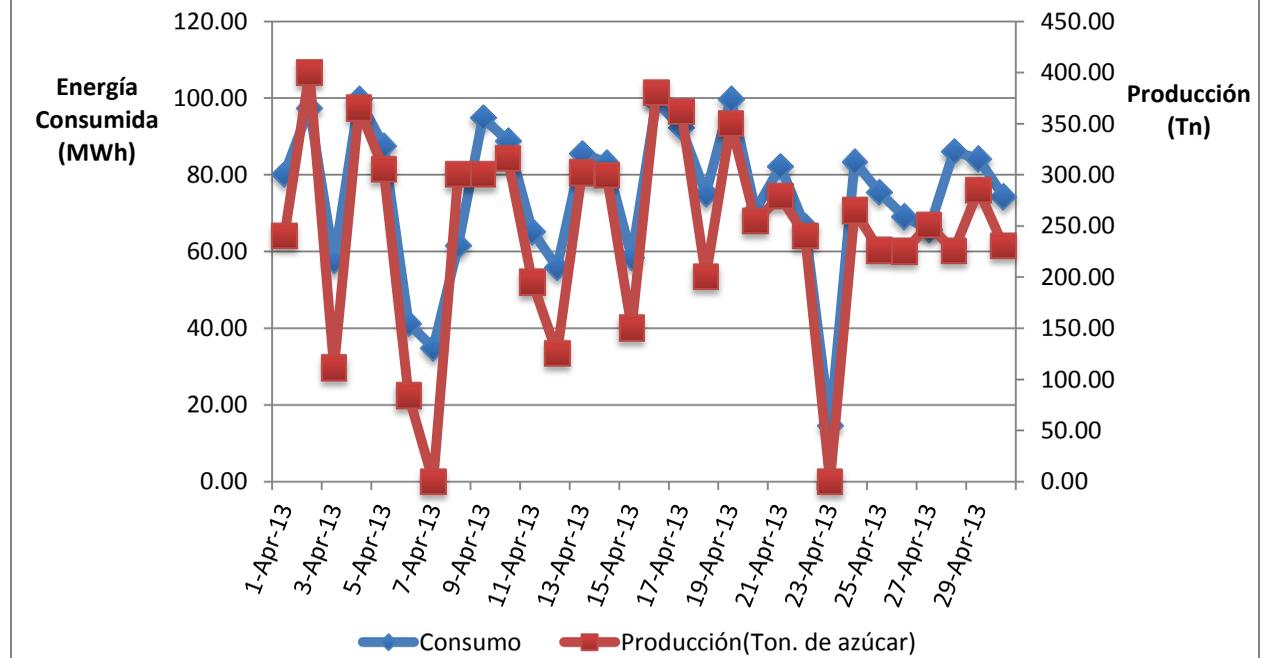


Gráfico de E-P vs. T (Mayo 2013)

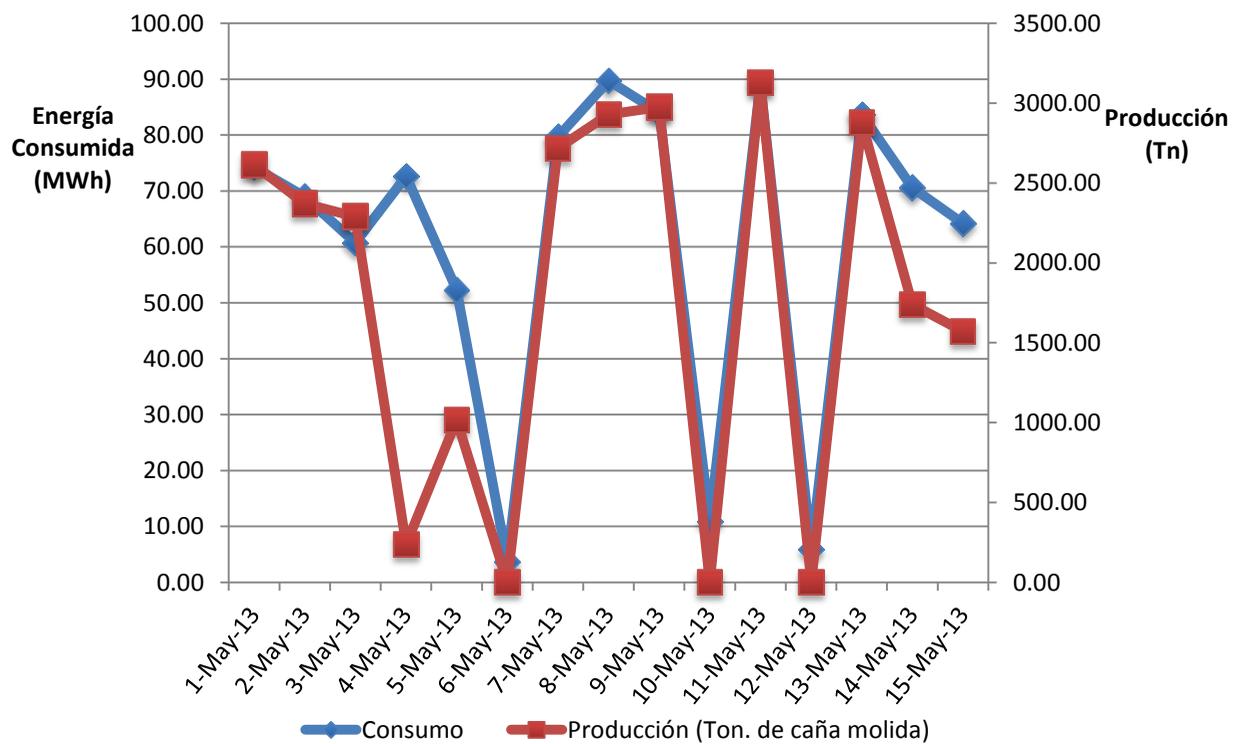
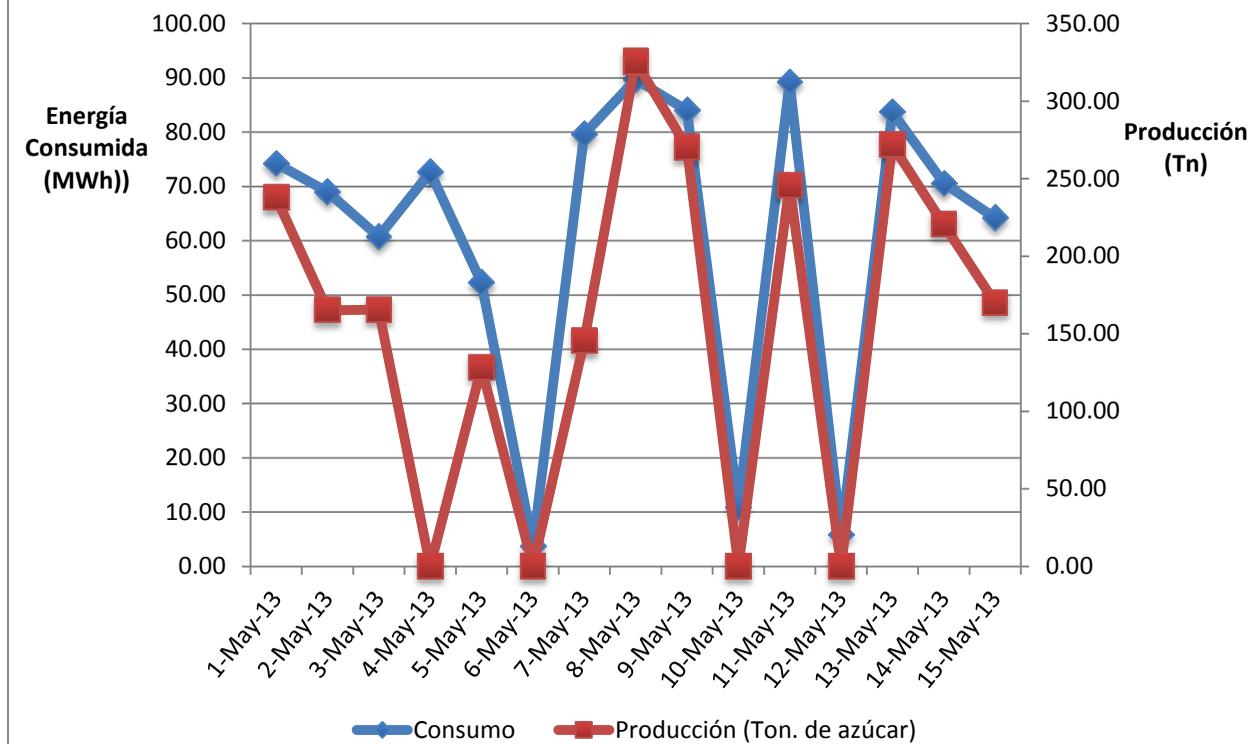


Gráfico de E-P vs. T (Mayo 2013)



Anexo 8. Gráficos de consumo de energía y producción por turnos de trabajo.

Gráfico de Consumo vs. Producción de Turno 7 AM de Febrero 2013

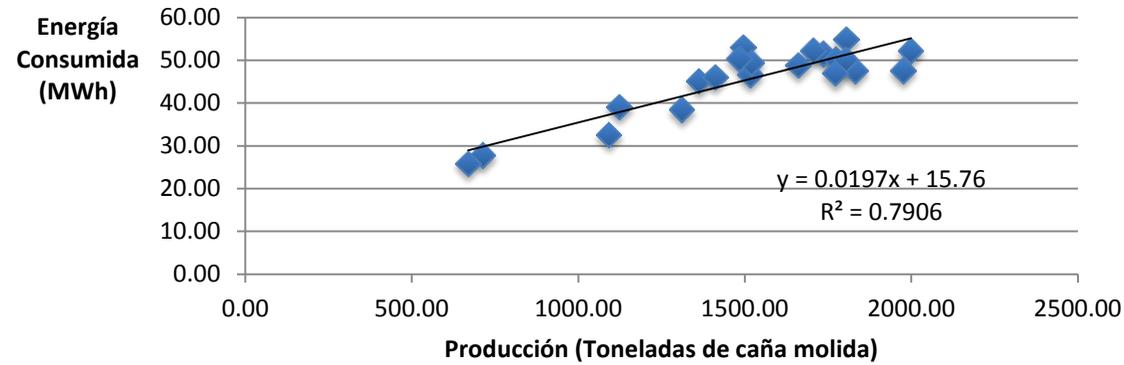


Gráfico de Consumo vs. Producción de Turno 7 PM de Febrero 2013

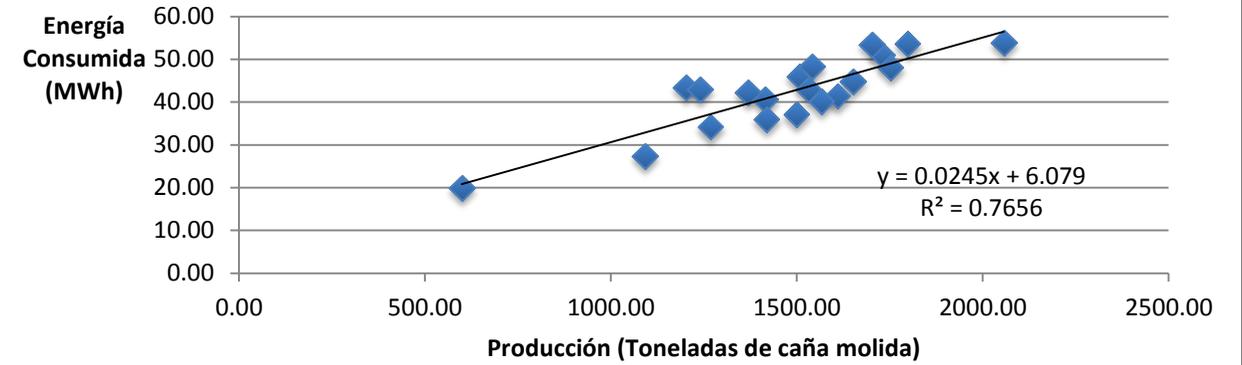


Gráfico de Consumo vs. Producción de Turno 7 AM de Marzo 2013

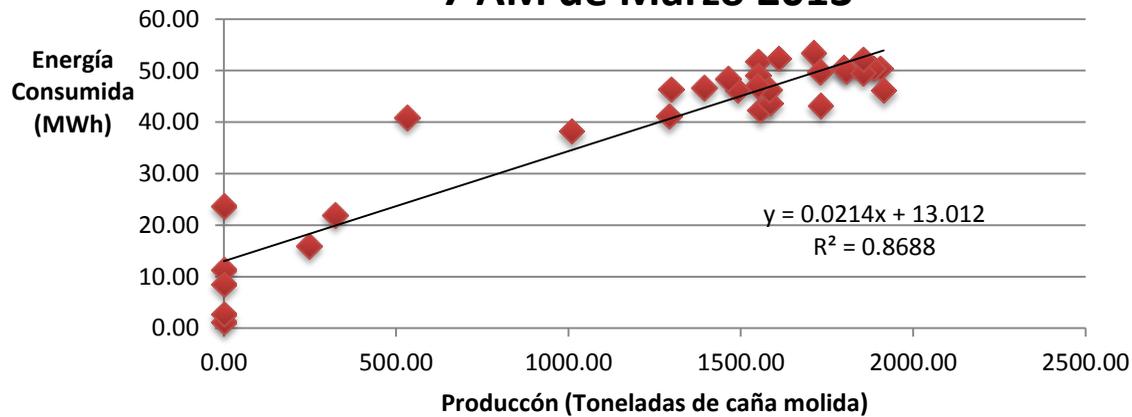
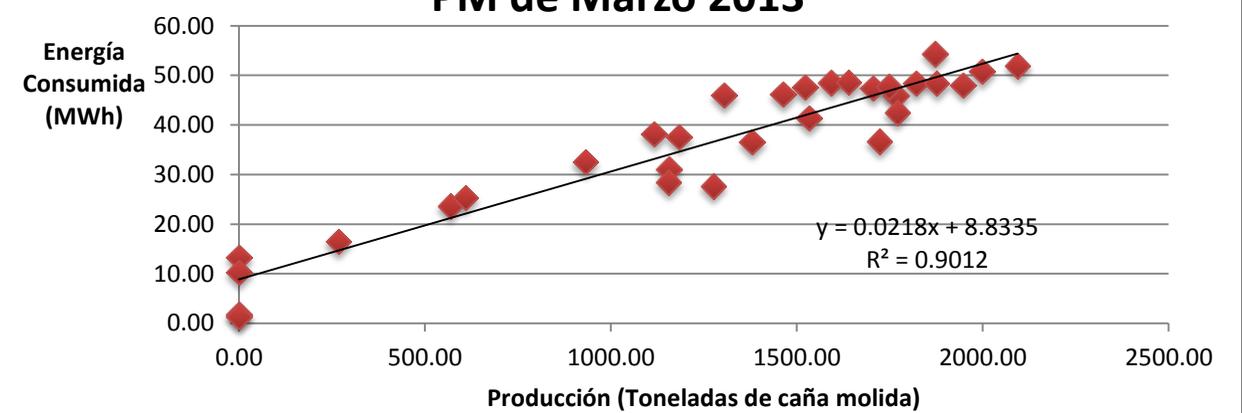
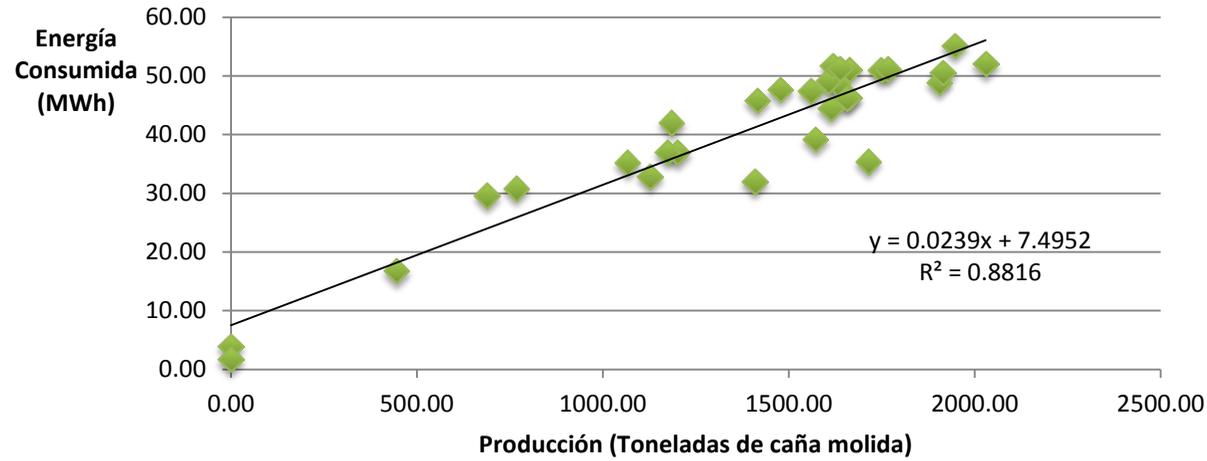


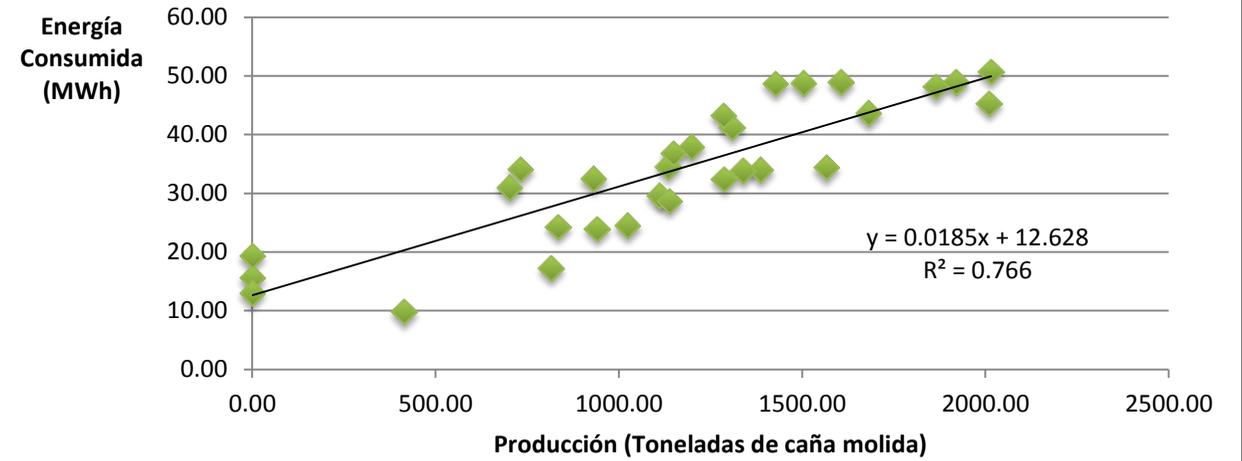
Gráfico de Consumo vs. Producción de Turno 7 PM de Marzo 2013



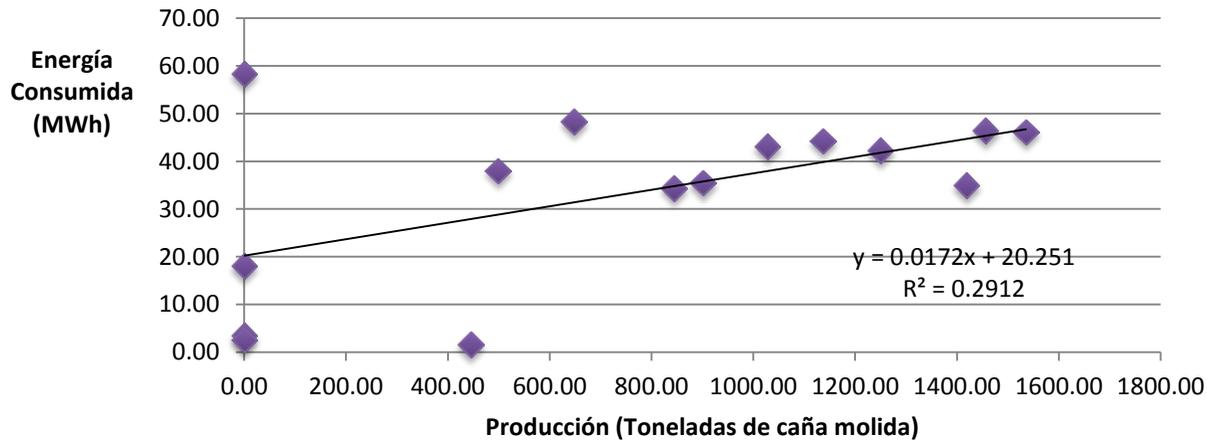
**Gráfico de Consumo vs. Producción de Turno 7
AM de Abril 2013**



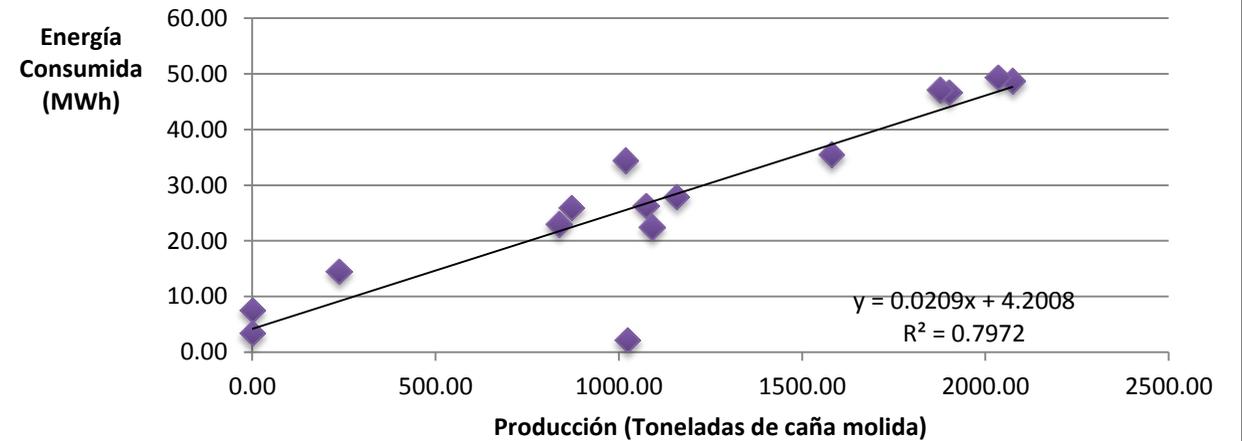
**Gráfico de Consumo vs. Producción de Turno 7
PM de Abril 2013**



**Gráfico de Consumo vs. Producción de Turno 7
AM de Mayo 2013**



**Gráfico de Consumo vs. Producción de Turno 7
PM de Mayo 2013**



Anexo 9. Gráficos de consumo de energía y producción por turnos de trabajo 7 AM y 7 PM.

