

LÍNEA BASE ENERGÉTICA DE LA SECCIÓN ATMOSFÉRICA Y LA SECCIÓN
DE VACÍO DE LA UNIDAD U-250 DE REFINACIÓN DE CRUDO EN LA
REFINERÍA DE ECOPETROL S.A. (BARRANCABERMEJA)

Sindy Dayana Puerto Vargas

Erika Vanessa Rodríguez Durán

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2015

LÍNEA BASE ENERGÉTICA DE LA SECCIÓN ATMOSFÉRICA Y LA SECCIÓN
DE VACÍO DE LA UNIDAD U-250 DE REFINACIÓN DE CRUDO EN LA
REFINERÍA DE ECOPETROL S.A. (BARRANCABERMEJA)

SINDY DAYANA PUERTO VARGAS
ERIKA VANESSA RODRÍGUEZ DURÁN

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Químico

Director:

Humberto Escalante Hernández
Ing. Químico Ph.D

Co-director:

María Paola Maradei García
Ing. Química Ph.D

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2015

DEDICATORIA

A Dios, por sus infinitas bendiciones, por brindarme el maravilloso regalo de vida, por la fuerza que me dio para continuar por esta meta.

A mis padres, Ludy Rejic Vargas, por su amor incondicional, por su apoyo y esfuerzo, porque gracias a su ejemplo, valores y principios debe todos mis triunfos. A mi padre Eulises Puerto, por su apoyo. Gracias a los dos por permitir que este sueño se hiciera realidad.

Deo gracias a mi tío Jorge Ricardo Vargas, por su gran apoyo durante este proceso.

A mis hermanas Angela, Wilmer, Diego, e Iven por sus consejos, por ser siempre una vez de aliento y guía en mi vida.

A una persona muy especial en mi vida Juan Felipe Cáceres, por su gran apoyo y amor, Por estar presente en este gran camino y gran triunfo.

A mi compañera de proyecto Erika Rodríguez, por su gran trabajo, esfuerzo y por todos los momentos que hicieron posible cumplir esta gran meta.

A todos mis amigos, por ser un apoyo en los momentos difíciles y por estar siempre hay y compartir triunfos, alegrías y esos días de estudio que permitieron la culminación de esta etapa de mi vida.

Sindy Dayana Puerto Vargas

DEDICATORIA

Dedico este trabajo especialmente a Dios y la Virgen de Guadalupe por regalarme la vida, llenarme de fe y la fuerza necesaria para triunfar en los momentos difíciles permitiéndome alcanzar un logro tan importante en mi vida profesional.

A mi padre Edgar Octavio Rodríguez Ariza por su esfuerzo, sacrificios, amor y sus noches en vela para cumplir mi sueño.

A mi madre Yolanda Durán Jiménez por su apoyo, sus palabras de amor y esperanza en el momento justo, sus abrazos reconfortantes, por enseñarme que con Dios todo lo puedo y que antes de ser profesional debo ser persona.

A mi hermana Angy Melissa Rodríguez Durán que me ha enseñado que la vida se enfrenta con valentía y por regalarme la bendición de ser tía del príncipe Maximiliano.

A mi hermana Valentina Rodríguez Durán el regalo más hermoso de Dios, el motor para cumplir mis sueños, el ángel que con solo una sonrisa hace brillar mis días.

A mi familia por su apoyo, oraciones y buenos deseos.

A mi compañera de proyecto Sindy Puerto, por su dedicación, compromiso y esfuerzo en cada momento recorrido para cumplir esta gran meta.

A mis compañeros y amigos por la compañía y apoyo en tantas horas de estudio y cada logro alcanzado.

“Que lo sepa todo el mundo, el autor de mis triunfos es Dios no yo”

ERIKA VANESSA RODRÍGUEZ DURÁN

“Se paciente, a veces hay que pasar por lo peor para conseguir lo mejor, pero siempre confiando en Dios.” (Papa Francisco)

AGRADECIMIENTOS

“Al que cree, todo le es posible” Marcos 9:28

A Dios por la perseverancia, guía, sabiduría y fortaleza para culminar nuestra etapa profesional.

A nuestras familias por su apoyo incondicional y sacrificio en cada momento de nuestra vida.

A ECOPETROL S.A. y en especial al Ingeniero Ricardo Rubio por el apoyo brindado en nuestro proyecto.

A la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, nuestra alma máter y a cada uno de los docentes que contribuyeron a nuestra formación como personas y profesionales.

Al profesor Humberto Escalante Hernández y la profesora María Paola Maradei García por su guía, conocimiento y apoyo brindado en la realización de nuestro trabajo.

A nuestro compañeros y amigos por su apoyo, ánimo y experiencias maravillosas vividas.

A todas las personas que de una u otra forma nos acompañaron y son parte fundamental de este logro obtenido.

Sindy Dayana Puerto Vargas y Erika Vanessa Rodríguez Durán

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	20
1. MARCO TEÓRICO	25
1.1 LÍNEA BASE ENERGÉTICA	25
1.1.1 Construcción de la Línea Base Energética	25
1.1.2 Modelo matemático de la Línea Base Energética	26
1.1.3 Línea Meta Energética	26
1.1.4 Potencial de Ahorro	27
1.2 NORMA ISO 50001	27
1.2.1 Modelo ISO 50001	28
1.2.2 Requisitos del Sistema de Gestión Integral de la Energía	29
1.3 ENERGÍA	30
2. METODOLOGÍA	32
2.1 REVISIÓN TEÓRICA	32
2.2 APROPIACIÓN TEÓRICA DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA UNIDAD DE REFINACIÓN DE CRUDO U-250	32
2.3 RECOPIACIÓN DE DATOS	33
2.4 ESTABLECIMIENTO DE LA LÍNEA BASE Y LÍNEA META	33
2.4.1 Identificación de las áreas de uso significativo de la energía y consumo	33
2.4.2 Determinación de la Línea Base Energética	34
2.4.3 Determinación de la Línea Meta Energética	34
2.4.4 Potencial de Ahorro Energético	35
3. RESULTADOS	36
3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA DE LA U-250	36
3.2 INFORMACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y CARGA DE LA U-250	38
3.3 IDENTIFICACIÓN DEL USO SIGNIFICATIVO DE LA ENERGÍA Y CONSUMO	40
3.3.1 Distribución de consumo por sección	40
3.3.2 Identificación de los consumos de energía	43
3.4 LÍNEA BASE ENERGÉTICA	44
3.4.1 Línea Meta Energética	47
3.4.2 Potencial de Ahorro	49
4. CONCLUSIONES	50

5. RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	55

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Diagrama de bloques de la unidad U-250. _____	21
FIGURA 2. Diagrama de dispersión de consumo de energía frente a producción.	25
FIGURA 3. Modelo del Sistema de Gestión de la Energía. Ciclo (PHVA). _____	28
FIGURA 4. Diagrama de planificación energética. Fuente: Norma ISO-50001 ____	30
FIGURA 5. Metodología desarrollada. _____	32
FIGURA 6. Variación de consumo energético y carga en el tiempo - Sección Atmosférica (U-250) _____	39
FIGURA 7. Variación de consumo energético y carga en el tiempo - Sección de Vacío (U-250) _____	39
FIGURA 8. Comparación del consumo experimental de la energía eléctrica en la U-250. _____	41
FIGURA 9. Comparación del Consumo experimental de la energía en forma de gas en la U-250. _____	41
FIGURA 10. Comparación del Consumo experimental de la energía en forma de vapor en la U-250. _____	42
FIGURA 11. Consumo experimental de energía-Sección atmosférica. _____	43
FIGURA 12. Consumo experimental de energía-Sección vacío. _____	43
FIGURA 13. Gráfica de línea base de la sección atmosférica. _____	44
FIGURA 14. Gráfica de línea base de la sección de vacío. _____	45
FIGURA 15. Gráfica de línea base de la sección atmosférica (Datos depurados).	46
FIGURA 16. Gráfica de línea base de la sección de vacío (Datos depurados). _	46
FIGURA 17. Gráfica de LBE y LME de la sección atmosférica de la U-250. ____	47
FIGURA 18. Gráfica de LBE y LME de la sección de vacío de la U-250. _____	48
FIGURA 19. Consumo de energía en forma de vapor de la Sección atmosférica por equipos. _____	65
FIGURA 20. Consumo de energía en forma de vapor de la Sección de vacío por equipos. _____	65

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Ejemplo de equipos consumidores de energía eléctrica* _____	37
TABLA 2. Ejemplos de equipos consumidores del sistema de vapor* _____	38
TABLA 3. Filtrado de datos atípicos por método residuales. Sección de Vacío__	68
TABLA 4. Filtrado de datos atípicos por método residual Sección Atmosférica _	70

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Diagrama de flujo de procesos (PFD) de la unidad U-250 _____	56
ANEXO B. Lista de equipos de la U-250 _____	57
ANEXO C. Lista de equipos consumidores de energía eléctrica _____	59
ANEXO D. Lista de equipos consumidores de vapor _____	60
ANEXO E. Datos de carga y consumo de energía total _____	61
ANEXO F. Reporte de la parada programada de la U-250 _____	63
ANEXO G. Consumo detallado de energía en de vapor _____	65
ANEXO H. Métodos de depuración de datos _____	66
ANEXO I. Método residual _____	67

LISTA DE ABREVIATURAS

BPD	<i>Barriles por día.</i>
kV	<i>Son kilovatios e indica las unidades de energía eléctrica consumidas por los equipos.</i>
MBTU	<i>Son millones de BTU totales de energía consumidos en el periodo de tiempo.</i>
LBE	<i>Línea Base Energética.</i>
LME	<i>Línea Meta Energética.</i>
PSIG	<i>Libra(fuerza) sobre pulgada cuadrada.</i>
SGIE	<i>Sistema de gestión integral de la energía.</i>
V	<i>Voltios</i>

GLOSARIO

BTU: Unidades térmicas británicas que definen la cantidad de energía que se requiere para subir un grado Fahrenheit (1°F) una libra de agua en condiciones normales de presión y temperatura.

CONSUMO DE ENERGÍA: cantidad de energía utilizada.

CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA: es la cantidad de energía eléctrica que es utilizada para mover motores que trabajan con la misma.

CONSUMO DE GAS: es la cantidad de gas combustible que es utilizado para la combustión en los hornos en unidades de KPCED.

CONSUMO DE VAPOR: es la cantidad de vapor de agua en KLB/H que es utilizado para mover equipos como las turbinas, compresores, etc.

EFICIENCIA ENERGÉTICA: proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía.

ENERGÍA: capacidad de un sistema de producir una actividad externa o de realizar un trabajo, clases: electricidad, combustible, vapor, calor, aire comprimido y otros similares.

ENERGÍA ELÉCTRICA: es la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico.

FUENTE ENERGÉTICA: todo elemento físico del cual podemos obtener energía, con el objeto de aprovecharla. Se dividen en fuentes energéticas convencionales y no convencionales

GAS COMBUSTIBLE: es un gas que se utiliza como combustible para producir energía térmica mediante un proceso de combustión.

LÍNEA BASE ENERGÉTICA: referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético.

REVISIÓN ENERGÉTICA: determinación del desempeño energético de la organización basada en datos y otros tipos de información, orientada, a la identificación de oportunidades de mejora.

SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA ENERGÍA (SGIE): conjunto de elementos interrelacionados mutuamente o que interactúan para establecer una política y objetivos energéticos, los procesos y procedimientos necesarios para alcanzar dichos objetivos.

USO DE LA ENERGÍA: forma o tipo de aplicación de la energía.

USO SIGNIFICATIVO DE LA ENERGÍA: uso de la energía que ocasiona un consumo sustancial de energía y que ofrece un potencial considerable para la mejora del desempeño energético.

RESUMEN

Título: LÍNEA BASE ENERGÉTICA DE LA SECCIÓN ATMOSFÉRICA Y LA SECCIÓN DE VACÍO DE LA UNIDAD U-250 DE REFINACIÓN DE CRUDOS EN LA REFINERÍA DE ECOPETROL S.A (BARRANCABERMEJA)*

Autores: Puerto Vargas Sindy Dayana**
Rodríguez Durán Erika Vanessa**

Palabras claves: ISO 50001:2011, Eficiencia Energética, Línea Base Energética, Línea Meta Energética, Potencial de Ahorro.

Actualmente las empresas con índices de producción elevados y altos niveles de competitividad buscan optimizar sus procesos y como tal reducir costos e incrementar las ganancias. Este es el caso de Ecopetrol S.A., empresa petrolera más importante de Colombia, quien consciente del costo elevado de la energía crea una política energética que se fundamenta en la norma NTC-ISO 50001:2011, "Sistema de Gestión Energética". Esta norma proporciona estrategias para la gestión de la energía y su respectivo análisis, a fin de reducir los costos de la misma en las empresas, mejorar la eficiencia energética de los procesos y contribuir al medio ambiente.

Como tal este trabajo es una guía del análisis energético en una de las unidades ubicadas en el complejo petrolero de Barrancabermeja, la unidad U-250 (Unidad Refinadora de Crudos) encargada de la destilación del crudo y compuesta por dos secciones, una atmosférica y otra de vacío.

Dicho análisis se realizó por medio de la Línea Base Energética, quien hace parte de la salida de la revisión energética. La línea es considerada una referencia cuantitativa que proporciona una guía para la comparación del desempeño energético. A partir de ella y la Línea Meta Energética se estableció un potencial de ahorro que hace referencia a la posibilidad existente de reducción de consumo energético en la sección atmosférica y la sección de vacío de la U-250.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: ESCALANTE HERNÁNDEZ Humberto Ing, Químico PhD.Co-Directora: MARADEI Maria Paola Ing, Químico PhD.

ABSTRACT

TITLE: ENERGY BASE LINE OF THE ATMOSPHERIC SECTION AND THE VACUUM SECTION OF THE UNIT U- 250 OF CRUDE OIL REFINING IN ECOPETROL S.A REFINERY. (BARRANCABERMEJA- COLOMBIA)*

AUTHORS: Puerto Vargas Sindy Dayana**
Rodríguez Durán Erika Vanessa**

KEYWORDS: ISO 50001:2011, Energy Efficiency, Energy Base Line, Energy Goal Line, Saving Potential.

At the present time companies with the high production rates and high competitiveness levels seek to optimize their processes and as such reduce cost and increase fits. This the case of ECOPETROL Plc. The most important oil company in Colombia that realize the high cost of energy. They create an energy politic which is based NTC-ISO 50001:2011 norm "Energy Management System". This norm provides strategies as energy management and respective analysis to reduce its cost in the companies; improve the energy efficiency of processes and contribute to the environment.

This work is a guide to energy analysis in one the units ubicated in Barrancabermeja, U- 250 unit (REFINER CRUDE OIL UNIT) the distillation of crude and composed by two sections one of them atmospheric and the other vacuum.

This analysis was performed through energy base line that is part of the output energy review. The line is considered a quantitative reference which provides guide to compare energy performance. Beginning with it and energy line that provides a potential savings which refers to the existing possibility to reduce energy consumption in the atmospheric section and the vacuum section of the U-250 was established.

*Degree work

**Faculty of Physico-Chemical Engineering. School of Chemical Engineering. Director: ESCALANTE HERNÁNDEZ Humberto. Chemical Engineer PhD. Co-Director: MARADEI Maria Paola Chemical Engineer PhD.

INTRODUCCIÓN

Ecopetrol S.A. es la principal compañía petrolera en Colombia. La refinería pertenece al grupo de las 39 petroleras más grandes del mundo y es una de las cinco principales de Latinoamérica [1]. Actualmente Ecopetrol tiene operaciones de refinación de manera directa en Barrancabermeja y Cartagena con una capacidad de carga de 250.000 BPD y 165.000 BPD respectivamente [2]. En el 2011 se lograron consolidar los procesos de energía en Ecopetrol; se consiguió, entre otros, la aprobación de la guía energética, la estructuración de los niveles de procesos en energía, el seguimiento a los indicadores energéticos y la inclusión de la ISO 50001 como orientador de la gestión energética de la compañía [3].

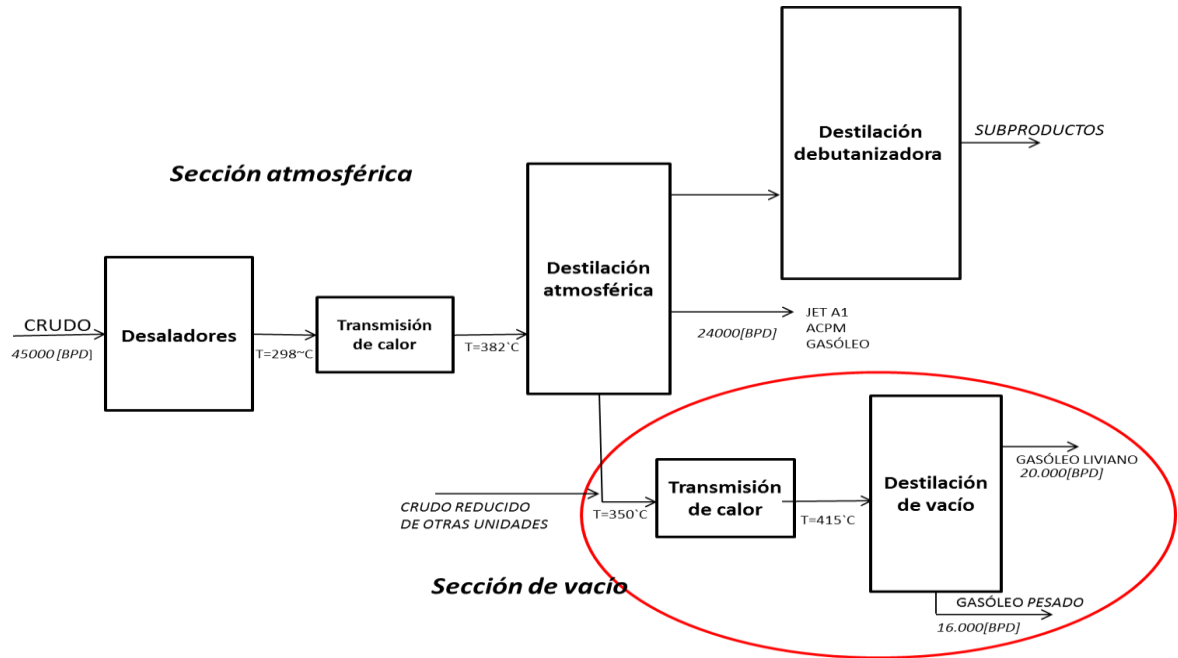
La refinería en su interés por reducir el costo elevado de la energía y la necesidad de disminuir el impacto ambiental busca alternativas que cumplan con los estándares de calidad energética y ambiental. Por ello Ecopetrol S.A. ha optado establecer sistemas de gestión integral de la energía en sus unidades operativas. Pensando en el consumo de energía elevado las miradas se centran en el área de refinación, parte fundamental y uno de los mayores consumidores de energía en una refinería.

Una de las unidades ubicada en el área de refinación de crudo es la Unidad U-250. Esta unidad fue diseñada y construida por W. Kellong en 1965, cuenta con dos secciones, la sección atmosférica y la sección de vacío. Las secciones respectivas tienen una capacidad de carga de 45.000 BPD y 36.000 BPD. La unidad carga un crudo mezclado a 25^o API, generando varios tipos de productos como NAFTA LIVIANA, NAFTA PESADA, JET A1, ACPM, y GASÓLEO obtenidos de la destilación atmosférica y de vacío [4].

El proceso llevado a cabo en las dos secciones de la unidad U-250 se observa de forma simplificada en la figura 1 *“Diagrama de bloques de la unidad U-250”* y se

anexa el diagrama detallado del proceso (PFD) (“Ver anexo A Diagrama de Flujo de Proceso PFD U-250”).

FIGURA 1. Diagrama de bloques de la unidad U-250.



Sección atmosférica: constituye la primera etapa del refino del crudo, el objetivo es su vaporización parcial y separación por condensación a diferentes temperaturas en distintas fracciones [5]. Estos cortes de destilación se regulan para hacerlos corresponder con las especificaciones de cada producto, lo que condiciona su rendimiento. Los hidrocarburos se clasifican en función de su volatilidad es decir, de acuerdo con su peso molecular. La sección atmosférica inicia con la llegada del crudo al primer tren de intercambio de calor donde aumenta su temperatura a 140°C, pasa por los desaladores donde se remueven impurezas que trae el crudo proveniente de los tanques. Después la carga se dirige al segundo tren de intercambiadores que se encarga de elevar la temperatura del crudo a 298°C antes de llegar al horno donde ocurre el calentamiento final a una temperatura aproximada de 382°C. Finalmente el crudo pasa a la torre atmosférica donde

empieza la destilación a presión atmosférica para obtener como productos principales JET A1, ACPM, y GASÓLEO en las torres despojadoras. La parte no condensada de la torre se envía a la torre debutanizadora donde se retira la parte liviana que trae la NAFTA considerada como producto secundario. (*Ver anexo B “Lista de equipos U-250”*).

Sección de vacío: la principal característica de la sección de vacío es trabajar a presiones negativas, con el fin de obtener la mayor vaporización de hidrocarburo. La destilación al vacío del residuo atmosférico es una operación complementaria de la destilación primaria, permitiendo extraer del mismo destilados pesados, que sufrirán transformaciones posteriores o servirán para su empleo como bases de aceites lubricantes [6]. La destilación al vacío inicia en el tambor de carga donde se recibe crudo reducido de la torre atmosférica y otras unidades de la refinería. El crudo se lleva al horno que lo calienta para ser introducido a la torre de vacío a una temperatura aproximada de 415 °C, donde ocurre la destilación y la recuperación de los subproductos GASÓLEO LIVIANO Y PESADO. (*Ver anexo B “Lista de equipos U-250”*).

La unidad cuenta con tres servicios industriales fundamentales: sistemas de vapor, gas combustible, y electricidad que intervienen en el funcionamiento de los equipos de la unidad.

La refinería en el interés de implementar SGIE y buscando contribuir a la eficiencia energética y ambiental plantea como modelo la realización de la Línea Base Energética. La línea sirve como referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético [7]. Para plantear la línea se utiliza información de un periodo adecuado al uso y consumo de energía.

La LBE es parte fundamental de la norma ISO 50001. Esta norma nace hacia el año 2011 como una herramienta de trabajo frente a varias necesidades que

enfrenta la industria. Es un estándar internacional que establece un marco para gestionar la energía en las organizaciones [8]. Colombia adoptó el estándar ISO 50001 como norma técnica colombiana NTC-ISO-50001 en el año 2012 [9]. Al igual que a nivel internacional esta norma es voluntaria y está enfocada en el modelo SGIE “Sistema de Gestión Integral de la Energía”; estos son los pilares sobre los cuales una empresa puede evaluar la administración de sus recursos energéticos. Es la forma como se emplean y consumen todos los tipos de energía en los procesos productivos, analizando su impacto económico y ambiental.

La gestión energética en Colombia ha sido desarrollada basándose en modelos internacionales, tiene sus inicios con la ley 697 de 2011 que fomenta el uso racional y eficiente de la energía. Otro antecedente importante que puede citarse es la guía para la implementación de sistemas de gestión integral de la energía publicada por UPME (Unidad de planeación Minero Energética) en el 2008. Todos estos preámbulos son la base fundamental de la NTC-ISO-50001 en Colombia. Los SGIE generalmente son compatibles con los estándares ISO de calidad (ISO 9000) y gestión ambiental (ISO 14001). Esto proporciona una oportunidad para implementar adecuadamente la ISO-50001 y vincular tres aspectos importantes para cualquier empresa: calidad, gestión ambiental y gestión energética [10].

En Colombia la aplicación de la ISO 50001 no es amplia pero existen estudios desarrollados en distintas empresas que buscan verificar su efectividad. La empresa “El Ingenio del Cauca S.A” planteó la conceptualización e implementación de la planificación energética de la norma ISO 50001 en la sección de elaboración del azúcar, obteniendo un ahorro de 5.272 kW/día, esta porción de energía ahorrada, al pasar a ser vendida equivale a un ahorro anual de COP\$269'939.200 [11]. Otro estudio lo hizo “Smurfit Kappa Cartón de Colombia”, empresa productora de pulpa, papel y cartón de madera quien realizó la caracterización energética en el área de la planta de Pulpa 1, evaluando la

eficiencia de la energía eléctrica y alcanzando un ahorro energético de 220,2 kW/h que equivale anualmente a COP\$16'634.971 [12].

Siguiendo estos lineamientos emprendidos por la empresa y los beneficios que entrega la norma ISO 50001 el objetivo general de este trabajo consiste en realizar la LBE de la sección atmosférica y la sección de vacío de la unidad U-250 de refinación de crudos en la refinería de Ecopetrol S.A. (Barrancabermeja). Permitiendo a la refinería identificar los puntos críticos de consumo energético y por ende proponer objetivos y metas que contribuyan a la eficiencia energética y ambiental.

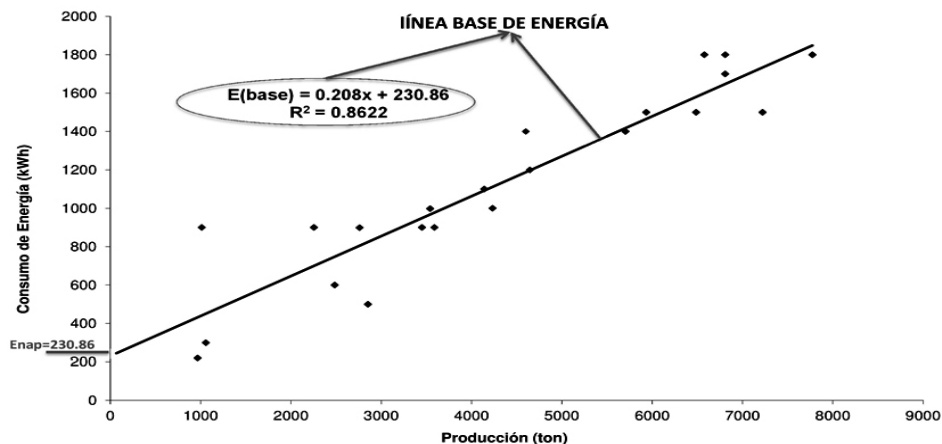
Para establecer la LBE se analiza el uso y consumo de la energía en la unidad que centra el consumo de servicios industriales en tres formas de energía principales: vapor, gas combustible y energía eléctrica. Los datos diarios de consumo de energía comprenden un periodo de 5 meses y fueron suministrados por la petrolera. A los datos se les aplica distintos análisis estadísticos con el objetivo de seleccionar el más adecuado, para finalmente establecer una línea base de consumo energético. Mediante la línea base energética establecida se determina la Línea Meta Energética que será el ideal de consumo por el cual trabajar en la U-250; evidenciando el potencial de ahorro que genera la implementación de SGIE en la compañía a futuro.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 LÍNEA BASE ENERGÉTICA

Es una guía que sirve como punto de comparación para que en futuras evaluaciones del uso de la energía se pueda determinar el grado de cumplimiento de los objetivos y metas energéticas [13]. A continuación se muestra un ejemplo de la LBE sobre el estudio del “Mejoramiento de la eficiencia energética en la industria del cemento por proceso húmedo a través de la implementación del sistema de gestión integral de la energía” [14] ver figura 2.

FIGURA 2. Diagrama de dispersión de consumo de energía frente a producción.



FUENTE: Castrillón, R; González, A y Quispe, E. (2013). *Diagrama de dispersión de consumo de energía frente a producción y estimación de la Línea Base de Energía para un proceso productivo* [Figura]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n177/v80n177a14.pdf>

1.1.1 Construcción de la Línea Base Energética

Para la construcción de la línea base se debe determinar la variable o conjunto de variables que afectan el consumo energético, y que influya de forma determinante

en el desempeño energético de la empresa. Entre las variables independientes tenemos: nivel de producción, temperatura exterior, clima, carga, etc.

1.1.2 Modelo matemático de la Línea Base Energética

El modelo matemático que se obtiene a partir de la LBE permite analizar los datos de consumo de energía y carga para un mismo período. Para realizar dicho modelo se usa la herramienta de Excel mediante el método de los mínimos cuadrados [15].

La correlación que se obtiene con el modelo de la LBE es un factor determinante a la hora de evaluar la línea, según CEEMA (2002) el coeficiente de correlación debe ser mayor o igual a 75%, mientras que UPME (2006) sugiere que debe ser mayor o igual a 85% [16]. Estos organismos indican que coeficientes menores a los mencionados reflejan una relación débil entre las variables y que por tanto, los datos no son adecuados para efectuar el diagnóstico energético. Una correlación baja puede indicar que la variable independiente no ha sido establecida adecuadamente [17]. Por ello es necesario implementar SGE.

- . Obteniendo una ecuación de la forma “ $y=bx+a$ ” donde [18]:

$y=E$ → Es el consumo de energía en el periodo seleccionado.

$x=C$ → Es la carga asociada en el periodo seleccionado

$b=m$ → Es la razón de cambio del consumo de energía respecto a la carga.

$a=E_{nac}$ → Es la energía no asociada a la carga.

$$E= mC+ E_{nac} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

1.1.3 Línea Meta Energética

La línea meta se construye a partir de los puntos más eficientes o de mejor desempeño alcanzable en el periodo de tiempo de estudio. Estos puntos son los

que se encuentran por debajo de la línea base y corresponden a las prácticas operacionales de mayor eficiencia en el proceso [19].

A partir de estos puntos se obtiene la relación lineal del consumo energético en función de la carga de la misma manera como se obtuvo la recta y la ecuación de la línea base. La ecuación de la línea meta será de la forma [20]:

$$E_{meta} = m_{meta} \cdot C + Enac_{meta} \quad (\text{Ecuación 2})$$

1.1.4 Potencial de Ahorro

Se determina a partir de la diferencia entre el consumo no asociado a la carga de la línea base y el consumo no asociado a la carga de la línea meta [21].

$$POTENCIAL DE AHORRO = Enac_{Linea Base} - Enac_{Linea Meta} \quad (\text{Ecuación 3})$$

1.2 NORMA ISO 50001

La norma internacional ISO 50001 “SGIE”, publicada en Junio de 2011, tiene como propósito facilitar a las organizaciones el establecimiento de los sistemas y procesos necesarios para mejorar el desempeño energético y el uso y consumo de la energía [22]. La implementación de esta norma ayuda a aumentar la eficiencia energética, reduce el impacto ambiental, da ventajas competitivas dentro de los mercados en los que participa y la reducción de los costos de la energía sin afectar la producción.

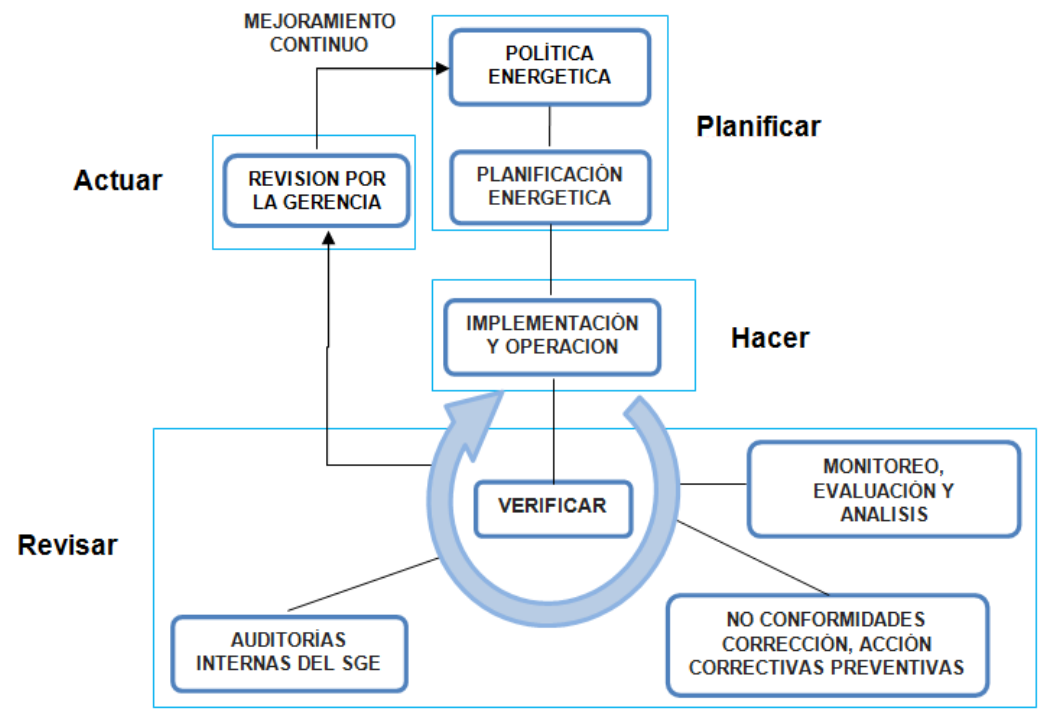
ISO 50001 es un estándar internacional que tiene como base los SGIE. Esta norma describe los requisitos para gestionar los sistemas energéticos aplicables a

todo tipo de empresa, pública o privada, de diferentes tamaños e independiente de su ubicación.

1.2.1 Modelo ISO 50001

Esta norma internacional se enfoca en el ciclo de mejora continuo: planificar, hacer, verificar, y actuar (PHVA) [23], enfocando la actividad de la empresa hacia la gestión energética, ver figura 2 “Modelo del Sistema de Gestión de la Energía”.

FIGURA 3. Modelo del Sistema de Gestión de la Energía. Ciclo (PHVA).



FUENTE: NORMA ISO 50001

Planificar: se inicia con la planificación energética general, para establecer la línea base y lograr los resultados que mejoran la eficiencia energética de acuerdo con la política energética de la organización.

Hacer: implementación de los planes de acción declarados en la política energética con el fin de cumplir las metas propuestas.

Verificar: esta etapa permite realizar seguimiento, medición y evaluación de los resultados de las operaciones que determinan el desempeño energético en relación a las políticas y objetivos desarrollados en la etapa de planificación.

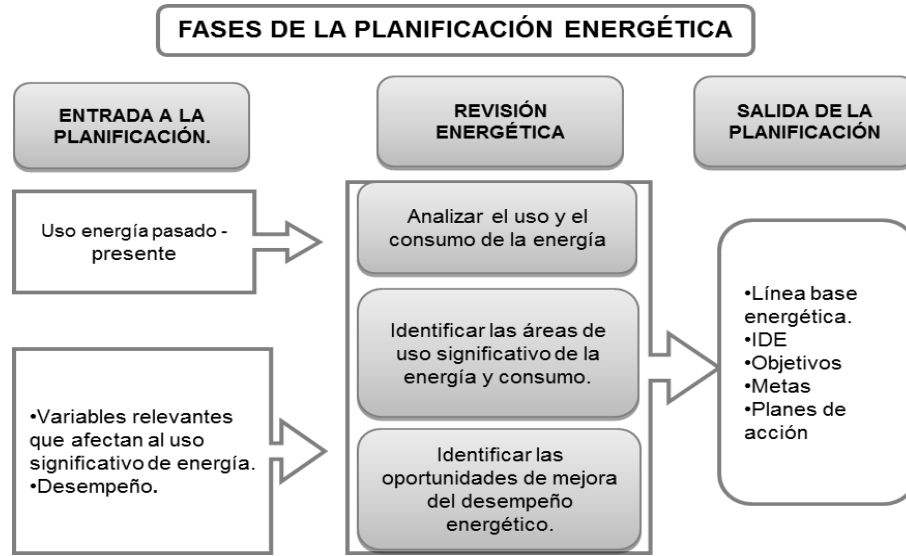
Actuar: tomar decisiones para mejorar en forma continua el desempeño energético y los SGIE en base a la evaluación de los resultados.

1.2.2 Requisitos del Sistema de Gestión Integral de la Energía

Crear un SGIE en una compañía requiere de 7 factores fundamentales. El primer factor establece requisitos generales que buscan documentar a nivel organizacional la implementación de la norma ISO 50001. El segundo factor le entrega responsabilidad a la dirección de la empresa para implementar y vigilar el funcionamiento de la misma. La política energética es el tercer factor y radica en el compromiso de la organización en la mejora del desempeño energético. Pensando en las actividades que se deben llevar a cabo surge el cuarto factor, la planificación, donde se establecen las actividades para incrementar la eficiencia energética y se revisan las que puedan llegar a afectarla para corregirlas. La implementación y operación de la ISO 50001 conduce al quinto factor que conlleva a la puesta en marcha de todo lo planeado en los factores anteriores. Finalmente el sexto y séptimo factor son la verificación y la revisión por la dirección, que permiten comprobar los resultados de aplicar la norma y realizar los respectivos ajustes de la misma [24].

En la figura 4 “*Diagrama de planificación energética*” se observa la planificación energética parte fundamental de la NTC-ISO 50001.

FIGURA 4. Diagrama de planificación energética.



FUENTE: NORMA ISO 50001

Entrada a la Planificación: corresponde a la revisión del uso y consumo de la energía a lo largo de los años y, los factores preponderantes.

Revisión Energética: busca comprender y analizar los usos, consumos, desempeños y variables energéticas; identificando diferentes posibilidades de optimización.

Salida de la Planificación: es el resultado de la revisión energética y genera los argumentos para definir la línea base, los indicadores de desempeño, objetivos, metas y plan de acción.

1.3 ENERGÍA

La norma ISO 50001 define energía como la capacidad de un sistema de producir una actividad externa o de realizar un trabajo. Para el propósito de la norma la

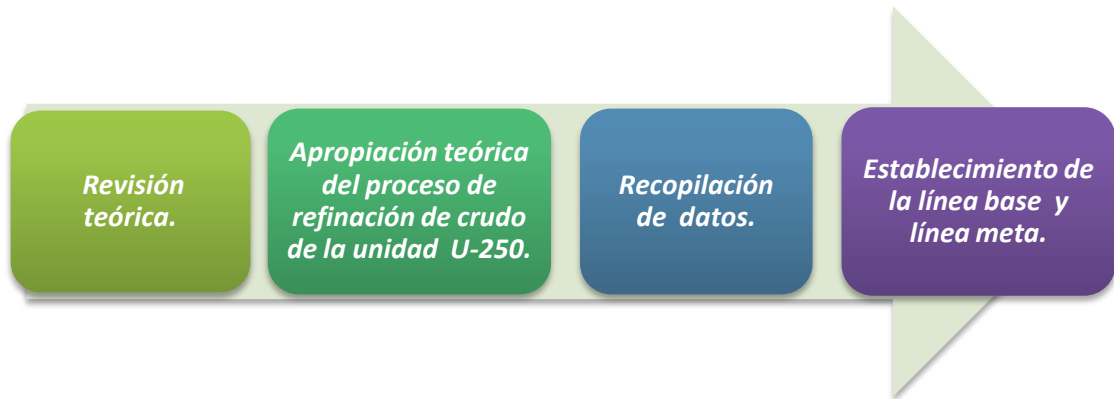
energía se refiere a varias formas de energía incluyendo la renovable, la que puede ser comprada, almacenada, tratada, utilizada en equipos o en un proceso o recuperada [25].

Las fuentes de energía son los recursos o materiales que se encuentran en la naturaleza que por sí mismos o transformados por el hombre son capaces de producir algún tipo de energía, se clasifican en fuentes de energía primaria y secundaria. Las “energías primarias” se obtienen directamente de la naturaleza: solar, hidráulica, eólica, geotérmica, petróleo, gas natural o carbón. Las “energías secundarias” provienen de la transformación de energía primaria con destino al consumo directo o a otros usos: gasolinas, electricidad, gasoil, fuel oil [26].

2. METODOLOGÍA

Para la realización del trabajo se llevaron a cabo las siguientes etapas:

FIGURA 5. Metodología desarrollada.



2.1 REVISIÓN TEÓRICA

En la primera etapa se realizó una recopilación de información bibliográfica referente a trabajos de grado, artículos, libros texto y la norma internacional ISO 50001. Dicha investigación permitió lograr una apropiación teórica sobre: la implementación de la norma ISO 50001, el establecimiento de la línea base energética, conocimiento de los diferentes tipos de energía y el proceso de refinación de crudo por medio de la destilación atmosférica y de vacío.

2.2 APROPIACIÓN TEÓRICA DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA UNIDAD DE REFINACIÓN DE CRUDO U-250

Para la apropiación teórica del consumo de energía de la unidad U-250 se realizó el análisis del uso y consumo de la energía, caracterizando las fuentes actuales en la refinería. Se procedió a revisar los consumos de vapor, eléctrica y gas, identificando el sistema de información y medida de las mismas. Para llevar a

cabo este punto Ecopetrol S.A. suministró información de la unidad como los manuales de operación de la unidad, diagramas de proceso e instrumentación (P&ID), diagrama de flujo de proceso (PFD) (Ver *anexo A “Diagrama de Flujo de Proceso PFD U-250”*) y la hoja de datos de cada equipo.

2.3 RECOPIACIÓN DE DATOS

Para el establecimiento de la LBE de la U-250 de la refinería se requirió información experimental del consumo de las diferentes fuentes de energía (eléctrica, vapor y gas) y carga de crudo de las secciones atmosférica y vacío de la unidad, los datos fueron suministrados por la refinería de Ecopetrol S.A.

En este punto de la investigación se encontró como dificultad que la refinería no cuenta con los datos experimentales de energía eléctrica por sección ni áreas de consumo. La recolección de datos de esta fuente de energía es un acumulado de la unidad, en la que empíricamente asumen el 75% del total de energía eléctrica para la sección atmosférica y el 25% para la sección de vacío. Esta condición bajo la cual opera la unidad puede afectar el resultado final de la LBE.

2.4 ESTABLECIMIENTO DE LA LÍNEA BASE Y LÍNEA META

2.4.1 Identificación de las áreas de uso significativo de la energía y consumo

Para realizar la adecuada identificación se llevaron a cabo los siguientes etapas, utilizando la herramienta de Excel:

- Distribución de consumo por sección: se determinó el acumulado de cada fuente de energía por sección y se comparó con el consumo total de la unidad por cada fuente de energía.
- Identificación de los consumos de energía: se realizó el acumulado de cada fuente de energía por sección y se analizó cuál de ellas presenta un mayor consumo en las secciones de la unidad U-250.

2.4.2 Determinación de la Línea Base Energética

Utilizando la información de consumo total de la energía y volumen de carga a la unidad U-250 suministrada por Ecopetrol S.A., se procedió a establecer la LBE para cada sección de la unidad.

Para determinar la LBE se utilizó como herramienta de cálculo Excel. Se realizó un gráfico de dispersión con cada uno de los datos de carga y consumo diario de energía total de las secciones de la unidad U-250. Finalmente se trazó la línea de tendencia lineal, que en este caso representa la LBE. Obteniendo un modelo de la forma de la ecuación (1).

Si la correlación obtenida en el modelo matemático se considera baja se procederá aplicar tres métodos estadísticos a los datos para aumentar la relación entre el consumo y la carga. Estos métodos serán diagrama caja y bigote, desviación estándar y método de residuales.

2.4.3 Determinación de la Línea Meta Energética

Una vez establecida la LBE para cada sección de la unidad U-250 se procedió a construir la línea meta. Para establecer la LME se emplearon los datos que se

encuentran por debajo de la línea base, considerados como datos de consumo energético eficiente. Se trazó la línea de tendencia lineal, que en este caso representa la LME. Obteniendo un modelo de la forma de la ecuación (2).

2.4.4 Potencial de Ahorro Energético

Para determinar el Potencia de Ahorro de las dos secciones se procedió a realizar la diferencia entre el consumo de energía no asociada a la carga de la LBE y el consumo no asociado a la carga de la LME, aplicando la ecuación (3).

3. RESULTADOS

En el presente capítulo se presenta los resultados obtenidos al realizar el respectivo análisis del uso y consumo de la energía en las secciones atmosférica y vacío de la unidad U-250 para determinar la LBE, LME y el Potencial de Ahorro.

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA DE LA U-250

La refinería de Ecopetrol S.A. cuenta con 3 fuentes de energía secundarias representativas [27]:

Energía eléctrica: el suministro energético de la refinería está a cargo del Centro de Control de Potencia. La energía eléctrica es distribuida a la unidad principalmente por tres circuitos:

- Circuito de media tensión 4.16 [kV] y baja tensión 440 [V]: los equipos representativos de este consumo son las bombas centrífugas de la unidad U-250.
- Circuito de baja tensión 220/110 [V]: este sistema hace referencia al consumo de equipos de cómputo, iluminación, aire acondicionado, otros equipos o servicios.

En la tabla 1 se presenta, a manera de ejemplo algunos de los equipos consumidores de energía, como es el caso de las bombas. Los demás equipos se pueden consultar en el anexo C (*Ver anexo C “Lista de equipos consumidores de energía eléctrica”*).

TABLA 1. Ejemplo de equipos consumidores de energía eléctrica*

USO DE LA ENERGÍA EN FORMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA				
SECCIÓN	EQUIPO	NOMENCLATURA	SERVICIO	CIRCUITO
ATMOSFÉRICA	Bomba	P-250 B	CARGA CRUDO A U250	MEDIA TENSIÓN
	Bomba	P-251	NAFTA A DEBUTANIZAR	BAJA TENSIÓN
VACÍO	Bomba	P-259 B	REF. CIMA T-253/GASÓLEO LIVIANO DE VACÍO	BAJA TENSIÓN
	Bomba	P-260 B	REFLUJO MEDIO T253/GASÓLEO PESADO VACÍO GPV	MEDIA TENSIÓN

*Fuente: Manual de procesos Ecopetrol S.A.

Sistema de Vapor: se genera en las calderas B-901, B-902, B-903, B-904, B-951, B-952, B-954, B-955, B-956, B-2401, B-2402, B-2403 y B-2405 para luego distribuirse a través de muchos equipos y a diferentes plantas que usan esta energía dentro de la refinería. La unidad cuenta con tres tipos de vapor, catalogados según su presión.

- *Vapor de alta presión [400 psig]:* las calderas conforman principalmente el cabezal de vapor de alta presión que llega a través de líneas revestidas al área de refinación. El vapor aporta a la unidad su potencia, aprovechada principalmente en los equipos de energía rotacional como turbinas necesarias en el proceso.
- *Vapor de media presión [150 psig]:* está conformado por degradaciones del vapor de 400 psig hacia el cabezal de 150 psig. La unidad cuenta con el generador de vapor E-258 A/B que produce vapor de 150 psig y es enviado al cabezal de media presión. Este vapor es utilizado como energía motriz en turbinas, los eyectores en la máquina de vacío y en los hornos como vapor de ahogo y vapor de limpieza de los serpentines.

- *Vapor de baja presión [50 psig]:* este cabezal se forma en las unidades de proceso como resultado de los exhostos de las turbinas y en la parte convectiva de los hornos H-253 y H-254. Ampliamente utilizado como vapor de despojo en las torres de destilación.

En la tabla 2 se presenta ejemplos de algunos equipos consumidores de vapor. Los demás equipos se pueden consultar en el anexo D (*Ver anexo D “Lista de equipos consumidores de vapor”*).

TABLA 2. Ejemplos de equipos consumidores del sistema de vapor*

SECCIÓN	EQUIPO	NOMENCLATURA	TIPO VAPOR [psig]	SERVICIO
ATMOSFÉRICA	BOMBA	P-250 C	400	CARGA CRUDO A U250
	BOMBA	P-251 A	150	NAFTA A DEBUTANIZAR
	TORRE ATMOSFÉRICA	T-250	50	EMPLEADO COMO VAPOR DE DESPOJO PARA ELIMINAR LOS COMPONENTES DE LA TORRE ATMOSFÉRICA CON PUNTOS DE EBULLICIÓN MENOR
VACÍO	BOMBA	P-260 C	400	REFLUJO MEDIO T253/GASÓLEO PESADO VACÍO GPV
	EYECTOR	J-250	150	FLUIDO MOTRIZ COMUNMENTE USADO EN LOS EYECTORES QUE PRODUCEN VACÍO
	TORRE DE VACÍO	T-253	50	EMPLEADO COMO VAPOR DE DESPOJO PARA ELIMINAR LOS COMPONENTES DE LA TORRE DE VACÍO CON PUNTOS DE EBULLICIÓN MENOR

*Fuente: Manual de procesos Ecopetrol S.A.

Sistema de gas combustible: el gas proviene de diferentes campos de producción como, gas Guajira y otros campos. Este gas es distribuido en la planta por cabezales de diferentes presiones. A la unidad U-250 solo ingresa gas a una presión de 75 psig que es usado en los hornos H-253 ubicado en la sección atmosférica y el H-254 en la sección de vacío.

3.2 INFORMACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y CARGA DE LA U-250

La información requerida para establecer la LBE de las secciones de la unidad U-250 se observa en la figura 6 y 7, donde el consumo de energía total es la suma de las fuentes de energía (eléctrica, vapor y gas). Ecopetrol S.A. suministró datos

diarios de consumo y carga del 27 de noviembre del 2013 hasta el 31 de marzo del 2014. (Ver anexo E “Datos consumo y carga”).

FIGURA 6. Variación de consumo energético y carga en el tiempo - Sección Atmosférica (U-250)

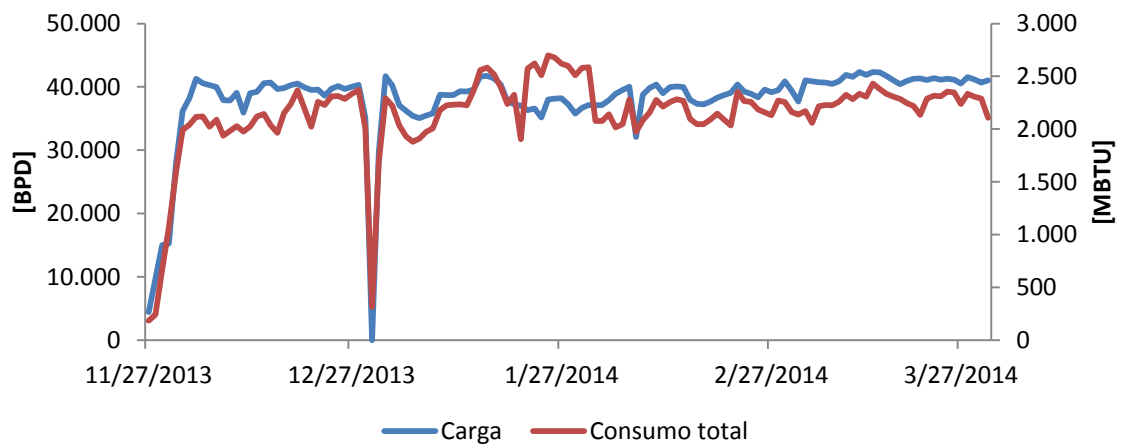
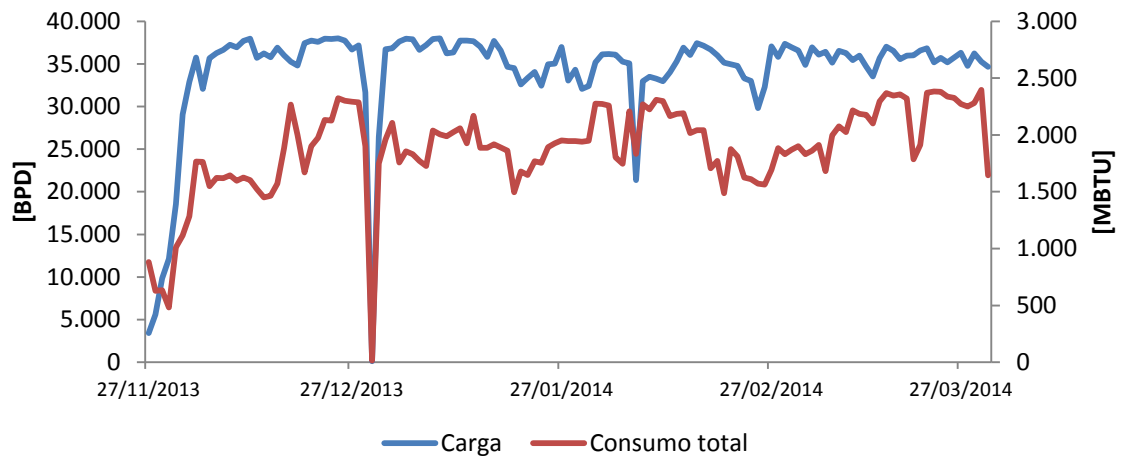


FIGURA 7. Variación de consumo energético y carga en el tiempo - Sección de Vacío (U-250)



Se observa en las figuras 6 y 7 dos puntos de inflexión negativos importantes, iniciando el periodo evaluado en noviembre y finalizando diciembre, estas disminuciones de la carga y el consumo energético se deben a paradas establecidas por la refinería en la U-250 para realizar el mantenimiento de los equipos después de ampliar la capacidad de producción de la unidad. (*Ver anexo F "Parada unidad U-250"*).

A su vez se puede inferir que la sección atmosférica (figura 6) presentó mayor relación entre los datos de carga y consumo energético, evidenciado un consumo de energía ineficiente finalizando enero donde se aprecia un mayor consumo energético respecto a la carga reportada.

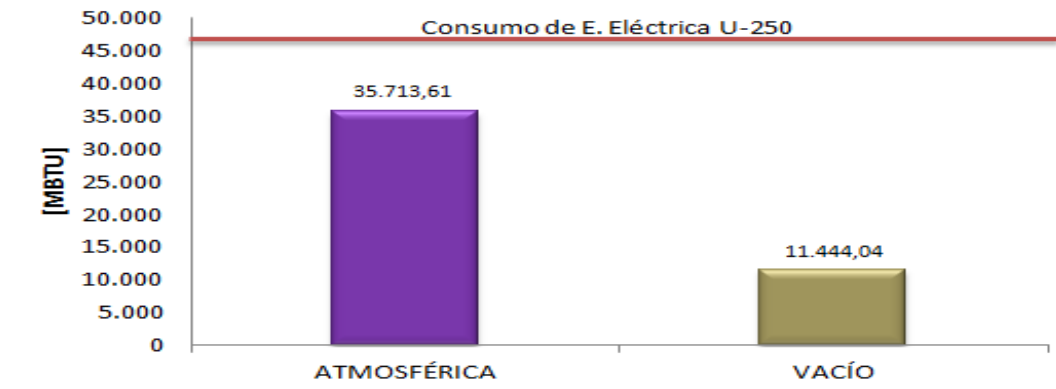
3.3 IDENTIFICACIÓN DEL USO SIGNIFICATIVO DE LA ENERGÍA Y CONSUMO

3.3.1 Distribución de consumo por sección

Consumo de energía eléctrica:

En la figura 8 se puede apreciar que la sección atmosférica consume el 75% del total de energía eléctrica de la unidad. Este consumo es debido a que en esta sección de la planta se encuentra el mayor número de bombas de la U-250, quienes poseen una gran potencia.

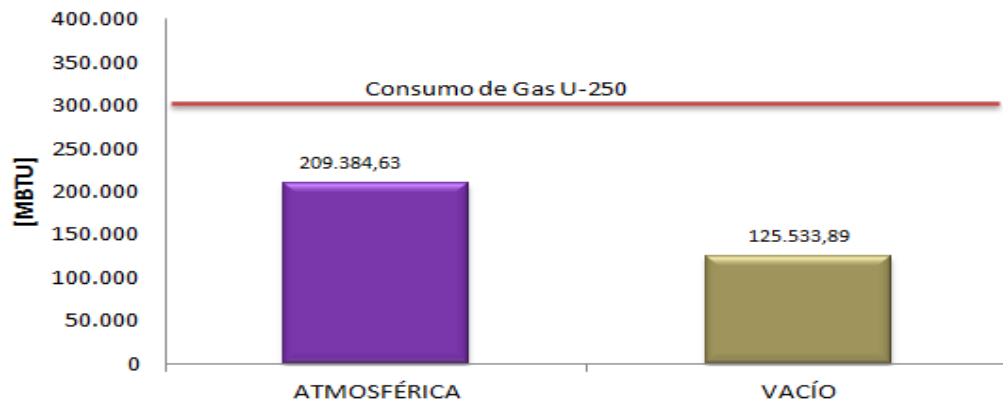
FIGURA 8. Comparación del consumo experimental de la energía eléctrica en la U-250.



Consumo de gas:

En la figura 9 se puede observar que la sección atmosférica presenta un consumo mayor de gas combustible.

FIGURA 9. Comparación del Consumo experimental de la energía en forma de gas en la U-250.



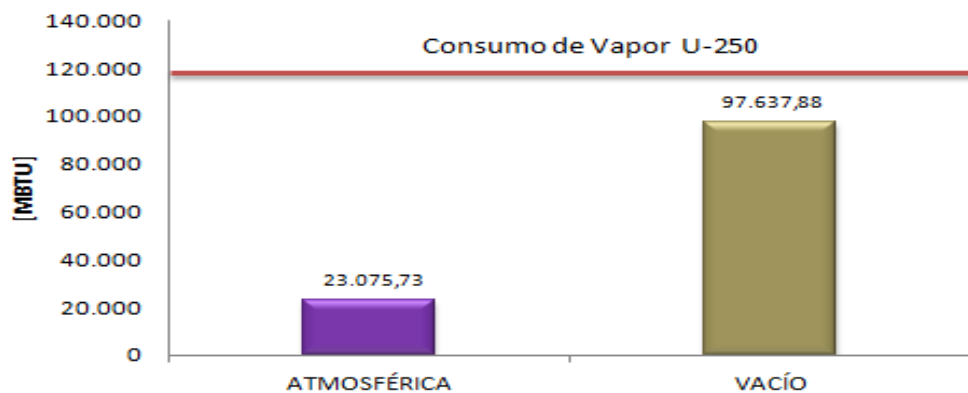
En cada una de las secciones de la unidad U-250 se encuentra un horno a quien se le atribuye el consumo de esta energía, el H-253 para la atmosférica y el H-254 para la de vacío. La sección atmosférica opera con una carga de 45.000 BPD mientras que la de vacío lo hace con 36.000 BPD, al elevarse la carga de

operación en la sección atmosférica en el horno H-253 se incrementa el consumo de gas combustible como se aprecia en la grafica 9.

Consumo de vapor:

En la figura 10 se puede observar que la sección de vacío consume mayor energía en forma de vapor que la sección atmosférica.

FIGURA 10. Comparación del Consumo experimental de la energía en forma de vapor en la U-250.



La sección de vacío consume mayor cantidad de vapor como refleja la grafica 10 porque la sección cuenta con más equipos consumidores de vapor de alta, media y baja presión (Eyectores, serpentines del horno, turbinas y torre de destilación al vacío).

Se hizo un análisis más profundo de los diferentes equipos que consumen vapor de alta, media y baja presión en las secciones de la unidad U-250. Se aprecia que las turbinas y los eyectores tienen un mayor consumo. (Ver anexo G “Consumo detallado de energía en forma de vapor”).

3.3.2 Identificación de los consumos de energía

En las figuras 11 y 12 se puede inferir que el consumo de gas combustible es mayor respecto a las otras fuentes de energía.

FIGURA 11. Consumo experimental de energía-Sección atmosférica.

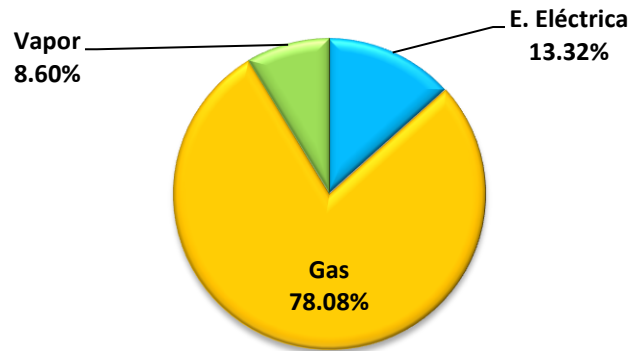
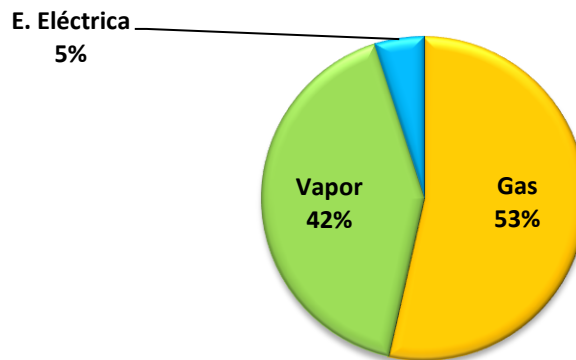


FIGURA 12. Consumo experimental de energía-Sección vacío.



La figura 11 muestra el comportamiento de las fuentes energéticas en la sección atmosférica, el consumo más grande de las mismas se le atribuye al gas, es por ello que al momento de implementar acciones para gestionar la energía se debe tener especial cuidado con esta fuente.

En la figura 12 a pesar que el gas sigue siendo la fuente energética predominante en el consumo general, el vapor incrementa considerablemente lo que puede crear fluctuaciones en el consumo total afectando los resultados de la LBE. Cuando la refinería implemente acciones para mejorar el consumo energético debe analizar los equipos consumidores de gas y vapor.

3.4 LÍNEA BASE ENERGÉTICA

En la figura 13 y 14 se presenta la LBE de la sección atmosférica y la sección de vacío respectivamente. Se estableció una primera línea base cruzando el consumo total de energía en unidades MBTU y la carga total en unidades de BPD para las secciones.

FIGURA 13. Gráfica de línea base de la sección atmosférica.

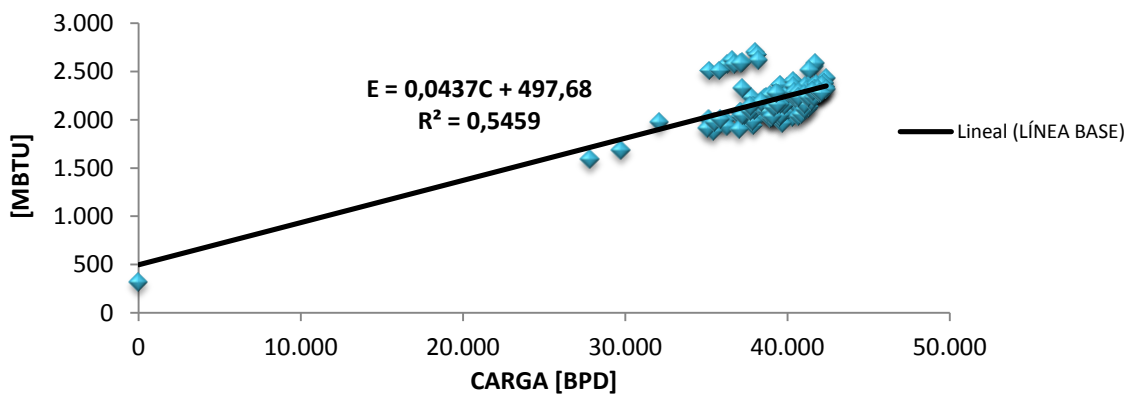
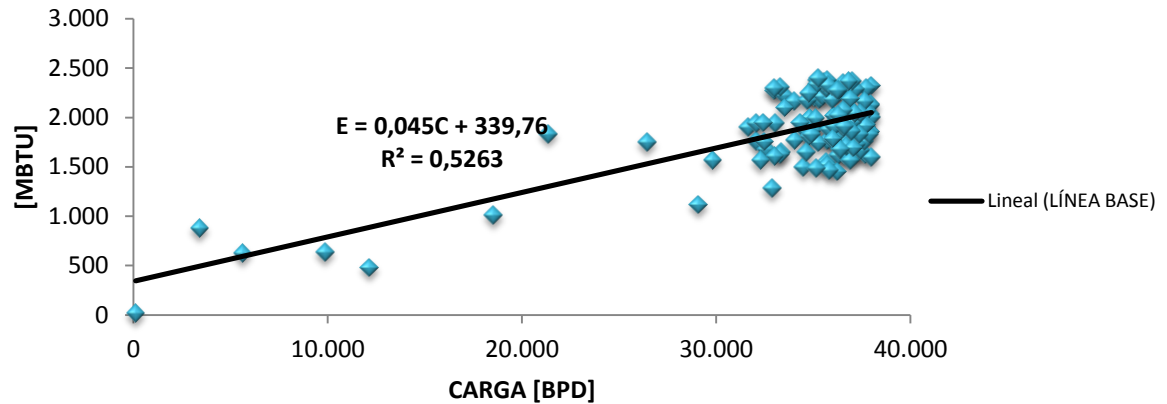


FIGURA 14. Gráfica de línea base de la sección de vacío.

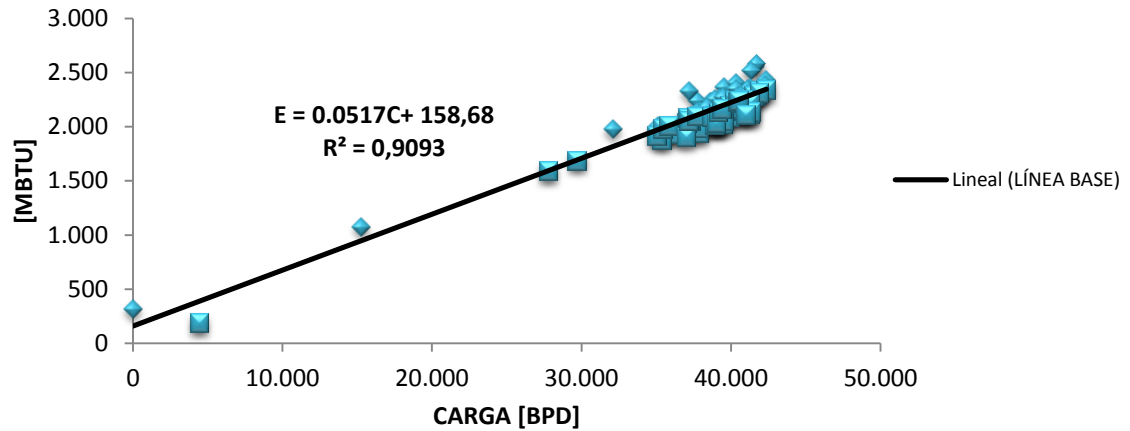


En las figuras 13 y 14 se obtiene la línea de tendencia de la sección atmosférica y vacío respectivamente, que representan la LBE. Se evidencia que las correlaciones son muy bajas por ello se procedió hacer depuración de datos.

Para realizar la depuración de datos, en las dos secciones presentadas gráficamente en las figuras 13 y 14 respectivamente, se emplearon tres métodos estadísticos: diagrama de caja, más o menos la desviación estándar y método de residuales (*Ver anexo H “Métodos de depuración de datos”*), de los tres métodos empleados el que presentó mejor correlación para cada LBE fue el método de residuales, quien permitió identificar los datos anómalos del consumo y obtener una mejor correlación (*Ver anexo I “Método Residual”*).

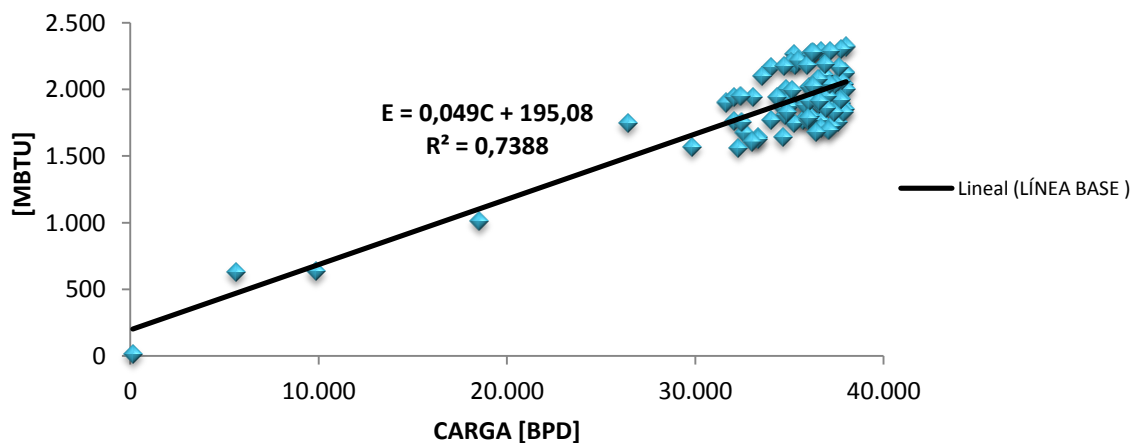
En la figura 15 y 16 se presenta la LBE de la sección atmosférica y la sección de vacío respectivamente después de aplicar el método estadístico de residuales.

FIGURA 15. Gráfica de línea base de la sección atmosférica (Datos depurados).



En la línea base de la sección atmosférica con el método residual se tomaron 125 datos y fueron filtrados 16 para un tamaño de muestra de 109 con una fiabilidad del 87% aumentado la correlación (R^2) un 36,34%, como se aprecia en la figura 15. Este (R^2) es considerado como un valor fuerte, lo que indica que hay una relación entre el consumo y la carga.

FIGURA 16. Gráfica de línea base de la sección de vacío (Datos depurados).



En la LBE de la sección de vacío con el método residual se tomaron 125 datos y fueron filtrados 40 para un tamaño de muestra de 85 con una fiabilidad del 71% aumentado la correlación (R^2) un 21,25% como se aprecia en la figura 16. Este (R^2) es considerado como un valor fuerte lo que indica que hay una relación entre el consumo y la carga.

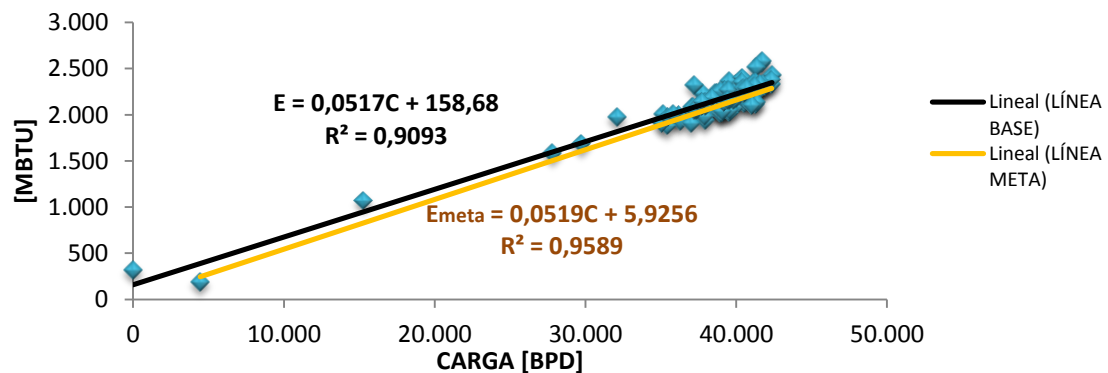
Las LBE de las figuras 15 y 16 se comportan de acuerdo a un análisis ya desarrollado en la industria del cemento y que se reportó a lo largo del trabajo, aclarando que la variable independiente en esa investigación era la producción (ver figura 2) pero comprobando que la LBE cumple con los lineamientos teóricos.

De las ecuaciones obtenidas por la LBE de las figuras 15 y 16 se puede inferir que en la sección atmosférica la energía no asociada a la carga corresponde a 158,68 [MBTU/día] y en la sección de vacío es de 195,08 [MBTU/día].

3.4.1 Línea Meta Energética

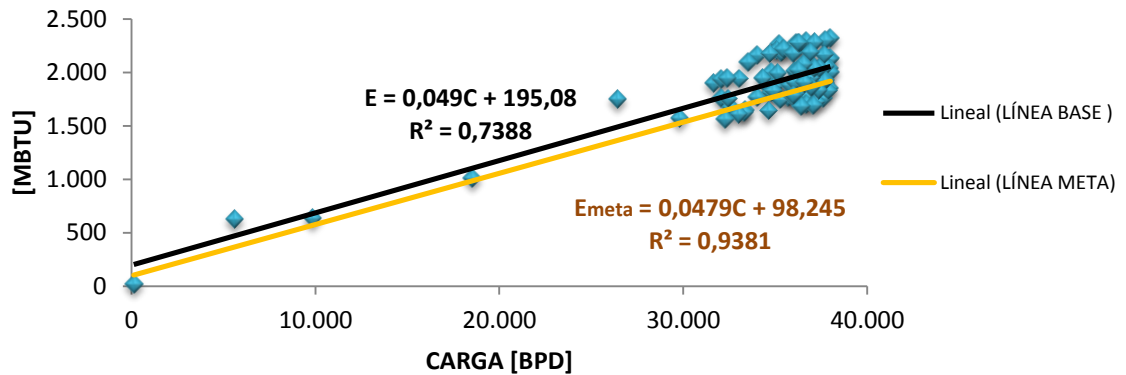
En las figuras 17 y 18 se puede apreciar las LME de las secciones atmosférica y vacío respectivamente.

FIGURA 17. Gráfica de LBE y LME de la sección atmosférica de la U-250.



En la figura 17 se observa la línea meta de la sección atmosférica que se obtuvo a partir de la línea base obteniendo una correlación (R^2) de 0,9589 considerándola como muy fuerte, donde la energía no asociada al proceso es de 5,92 [MBTU/día]

FIGURA 18. Gráfica de LBE y LME de la sección de vacío de la U-250.



En la figura 18 se observa la línea meta de la sección de vacío que se obtuvo a partir de la línea base dando una correlación (R^2) de 0,9381 considerándola como muy fuerte, donde la energía no asociada al proceso es de 98,24 [MBTU/día].

La línea meta establecida para las secciones atmosférica y vacío en la figuras 17 y 18 son la mejor guía para la refinería al momento de evaluar el mejoramiento energético después de implementar correctivos, debido a que representa los puntos más eficientes en cuanto a consumo energético de cada sección de la unidad U-250.

3.4.2 Potencial de Ahorro

Para la sección atmosférica y sección de vacío la posibilidad de reducción del consumo energético fue de:

$$**POTENCIAL DE AHORRO**_{S. atmosferica} = 158,68 - 5,92 = 152,76 \text{ [MBTU/día]}$$

$$**POTENCIAL DE AHORRO**_{S,vacio} = 195,08 - 98,24 = 96,84 \text{ [MBTU/día]}$$

La unidad presentó un ahorro de energía no asociada a la carga de 249,6 [MBTU/día], anualmente se estimaría en un ahorro de 91.104 [MBTU/año], aumentando la eficiencia energética de los procesos desarrollados en cada una de sus secciones y contribuyendo a la disminución de la contaminación ambiental.

4. CONCLUSIONES

- Se identificó en la unidad U-250 de la refinería de Barrancabermeja, el tipo de energía y su consumo, para cada uno de los diferentes equipos que componen las plantas de destilación al vacío y atmosférica.
- Se estableció la LBE, a partir del consumo general de electricidad, gas y vapor, para las secciones de destilación atmosférica y de vacío de la unidad U-250. El factor de correlación de 0,909 obtenido en la sección atmosférica indicó una mejor gestión de la energía, mientras que la sección de vacío presento una correlación menor de 0,738 lo que conlleva a la necesidad de realizar nuevamente la recopilación de datos de consumo energético y hacer un análisis más profundo del uso y consumo de la energía en la sección.
- Se determinó la LME en cada una de las secciones de la unidad U-250 a partir de la los puntos más eficientes del consumo energético respecto a la carga en la LBE; este análisis es una guía para la refinería al momento de tomar acciones correctivas en cuanto al consumo energético y a futuro evaluar la eficiencia de las mismas.
- Se logró determinar el potencial de ahorro energético en el desarrollo de la LBE y LME para cada una de las secciones de la unidad U-250, el cual representa el 70,55% de ahorro energético, confirmando los beneficios de implementar la NTC-ISO 50001 en la unidad U-250.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la refinería de Ecopetrol S.A. al momento de la toma de datos de consumo energético y carga llevar un mejor control de las mismas para en futuras evaluaciones observar el mejoramiento de la eficiencia energética.
- Se recomienda que los datos sean tomados por un periodo de 2 años o mínimo un año diariamente y a la misma hora para generar más confiabilidad en el análisis energético.
- Se recomienda a la refinería que el consumo de energía eléctrica se realice por equipos y no asumiendo que el 75% corresponde a la sección atmosférica y el 25% a la sección de vacío del consumo total de la misma.
- Este trabajo puede ser el punto de partida para que la Empresa Colombiana de Petróleos implemente la normal NTC-ISP 50001 “Sistemas de Gestión Integral de la Energía” en las diferentes unidades pertenecientes a la refinería de Barrancabermeja o Cartagena.

BIBLIOGRAFÍA

- [15] CAMPOS, Juan; PRÍAS, Omar y QUISPE, Enrique. El MGIE, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional. En: El hombre y la máquina. Junio, 2008, no. 30, p. 22.
- [14] CASTRILLÓN, Rosaura; GONZALEZ, Adriana y QUISPE, Enrique. Mejoramiento de la eficiencia energética en la industria del cemento por proceso húmedo a través de la implementación del sistema de gestión integral de la energía. En: Dyna. Febrero, 2013, no. 177, p. 115-123.
- [13] CISNEROS, Jennyffer Eugenia. Guía para aplicación de sistemas de gestión energética orientado a la energía eléctrica, basado en la norma ISO 50001. Trabajo de grado Ingeniero Eléctrico. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, 2014. 86 p.
- [1] ECOPETROL. Editor2, 2014, (9 de Noviembre). Refinación [Ecopetrol.com.co] de: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/lo-que-hacemos/refinacion>
- [4] ECOPETROL. Manual de descripción de procesos de la unidad crudo U-250. Barrancabermeja. MDPU-CA02. 19-20 p.
- [27] ECOPETROL. Manual de descripción de procesos de la unidad crudo U-250. Barrancabermeja. MDPU-CA010. 1-18 p.
- [2] ECOPETROL. Wpadmin, 2014, (7 de Noviembre). Refinación [Ecopetrol.com.co] de: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/lo-que-hacemos/lo-que-hacemos-informacion>
- [26] FERNÁNDEZ, P. Ámbito científico-tecnológico. 1 ed. Madrid.: Ediciones Paraninfo S.A., 2014. 65 p.

- [17] Guía para aplicación de sistemas de gestión energética orientado a la energía eléctrica, basado en la norma ISO 50001. OP. Cit., p. 103.
- [18] Ibid., p. 88-89.
- [19] Ibid., p. 91.
- [20] Ibid., p. 91-92.
- [21] Ibid., p. 92.
- [11] HOME, Harold; ORÓZCO, Alejandro. Conceptualización en implementación de la etapa de planificación energética de la norma ISO 50001 para la sección de elaboración en INCAUCA S.A. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería, 2014. 15, 65 p.
- [7] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Sistemas de gestión de la energía, requisitos con orientación para su uso. NTC-ISO 50001. Bogotá, D.C.: El Instituto, 2011. 2,8 p.
- [8] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. OP. Cit., p. i.
- [22] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. OP. Cit., p. i.
- [23] Ibid., p. i.
- [24] Ibid., p. 16-18.
- [25] Ibid., p. 2.
- [9] LAITON, Norhangelica. Viabilidad técnica y operativa para implementar un sistema de gestión energética (SGE) en una refinería de Colombia basado en la metodología del estándar ISO50001. Trabajo de grado Magister en Ingeniería

Eléctrica. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, 2013. 12 p.

[10] Ibid., p. 8, 9,12.

[5] LLUCH, J. Tecnología y margen de refino del petróleo. 1 ed. Madrid.: Díaz de Santos S.A., 2011. 208 p.

[3] SAAVEDRA, Néstor; JIMÉNEZ, Favio. Necesidades de Innovación y Tecnología para la industria de petróleo y gas en Colombia. En: Revista de Ingeniería. Junio, 2014, no. 40, p. 54.

[16] SALAZAR, Carolina; OLIVEIRA, Edson y VIDAL, Juan. La eficiencia energética como herramienta de gestión de costos: una aplicación para la identificación de inversiones en eficiencia energética, su evaluación económica y de riesgo. En: Revista del Instituto Internacional de Costos. Abril, 2012, no.XII , p. 53.

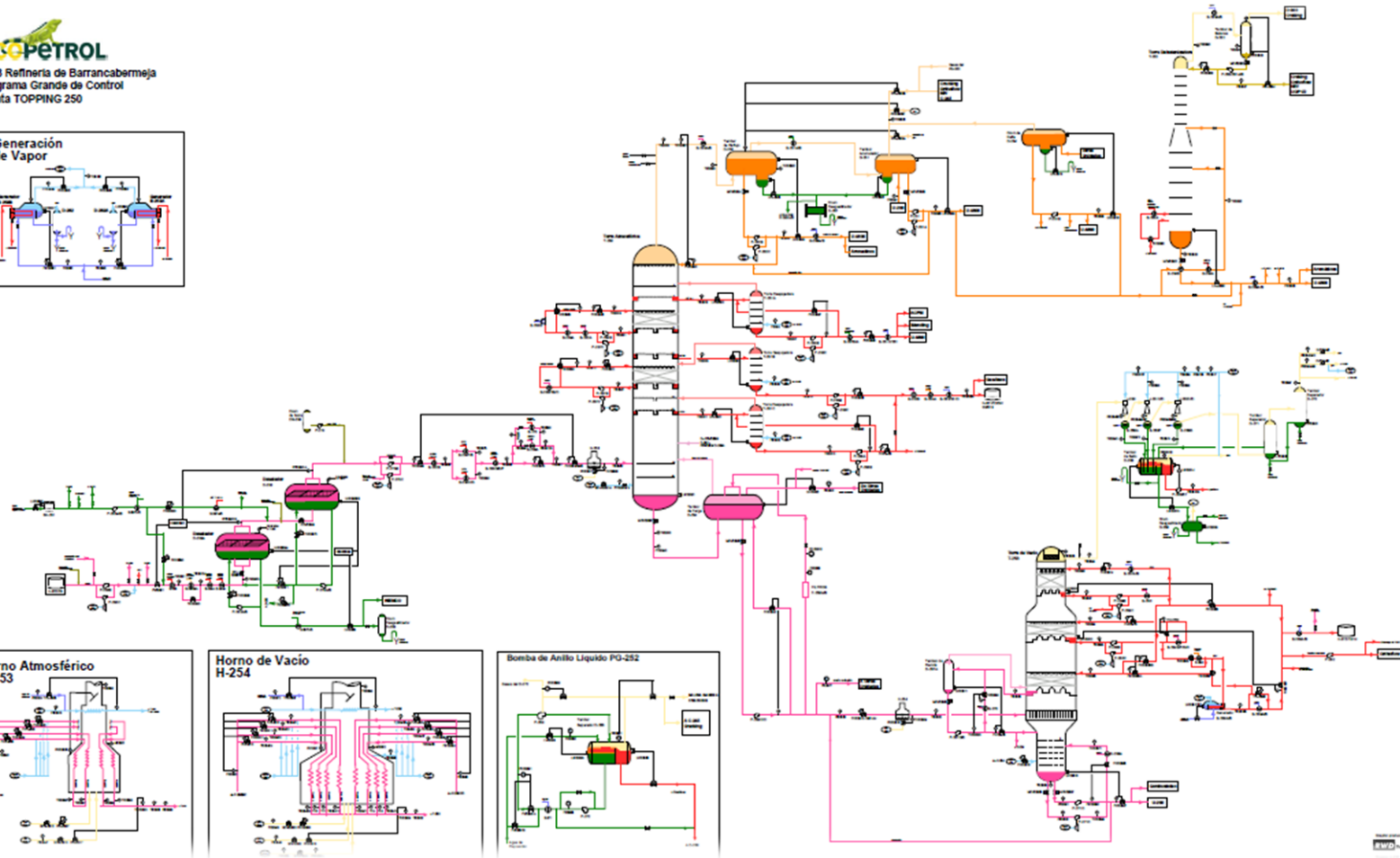
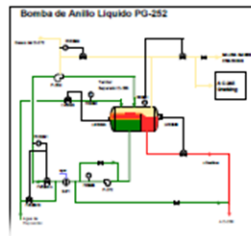
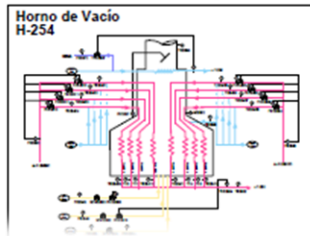
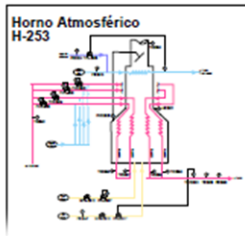
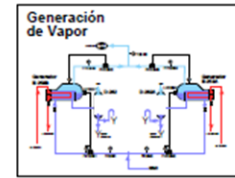
[12] TABORDA, Andrés. Caracterización energética en las plantas de pulpa de SMURFIT KAPPA CARTÓN DE COLOMBIA, aplicando el sistema de gestión integral de energía. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería, 2014. 17, 55 p.

[6] WAUQUIER, J. El refino del petróleo. Traducido por Juan Bravo. 1 ed. Madrid.: Díaz de Santos S.A., 2004. 363 p.

ANEXOS

ANEXO A. Diagrama de flujo de procesos (PFD) de la unidad U-250

ecopETROL
GRB Refinería de Barrancabermeja
Diagrama Grande de Control
Planta TOPPING 250



ANEXO B. Lista de equipos de la U-250

SECCIÓN	EQUIPO	NOMENCLATURA	SECCIÓN	EQUIPO	NOMENCLATURA
ATMOSFÉRICA	BOMBA	P-250 B/C	VACÍO	BOMBA	P-258 C/D
		P-265 A/B			P-261 D/E
		P-282 A/B			P-271 D
		P-279 A/B			P-271 C
		P-274			P-262
		P-275 B/C			P-260 B/C
		P-254 B/ P-257 C			P-259 B/C
		P-257 B/C			P-266/67
		P-252 B/C			PG-252
		P-253 B/C			P-269
		P-255 B/ P-253 C			P-272
		P-256 A/B			
		P-251/ P-251 A			
		P-251 B			
		P-263 / 281 A/B			

SECCIÓN	EQUIPO	NOMENCLATURA	SECCIÓN	EQUIPO	NOMENCLATURA	
ATMOSFÉRICA	DESALADOR	D-253 A	VACÍO	DRUM	D-258	
		D-253		TORRE	T-253	
	DRUM	D-263		TAMBOR	D-254	
		DS-251			D-257 A	
		D-267			D-268	
		D-264			D-271	
	TORRE	T-250		D-272	EYECTOR	J-250
		T-251 A		J-251 C/D		
		T-251 B		J-252 C/D		
		T-251 C		HORNO	H-254	
	T-252					
	TAMBOR	D-250				
		D-251				
		D-252				
	HORNO	H-253				

SECCIÓN	EQUIPO	NOMENCLATURA	SECCIÓN	EQUIPO	NOMENCLATURA
ATMOSFÉRICA	INTERCAMBIADOR DE CALOR	E-267 D/E	VACÍO	INTERCAMBIADOR DE CALOR	E-257 A/B
		E-267 A/B			E-250
		E-250			E-254 E/F/G/H
		E-250 B/A			E-265
		E-253 A			E-259 A/B
		E-252 A			E-260 A/B
		E-251 A/B			E-268 A
		E-267 D/E			E-268 F
		E-252 B			E-268 G
		E-254 F/E			E-270
		E-254 H/G			E-256 A
		E-255 D/E/F			E-271
		E-270			E-258 A/B
		E-256 A			
		E-250 A/B			
		E-255 F/E/D			
		E-252 A			
		E-253 A			
		E-253 B			
		E-252 B			
		E-264 A			
		E-262			
		E-251 D			
		E-267 B/A			
		E-251 C/261 D			
		E-266 A/B			
		E-251 A/B			
		E-265 A			
		E-264 B			
		E-264 A			
		E-266 A/B			
		E-263 A/B			

ANEXO C. Lista de equipos consumidores de energía eléctrica

USO DE LA ENERGÍA EN FORMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA				
SECCIÓN	EQUIPO	NOMENCLATURA	SERVICIO	CIRCUITO
A M O S F É R I C A	BOMBA	P-250 B	CARGA CRUDO A U250	MEDIA TENSIÓN
	BOMBA	P-275 B	REFORZADORA DE CRUDO	MEDIA TENSIÓN
	BOMBA	P-251	NAFTA A DEBUTANIZAR	BAJA TENSIÓN
	BOMBA	P-252 B	REFLUJO CIMA T250	BAJA TENSIÓN
	BOMBA	P-253 B	PRODUCTO JET A1	BAJA TENSIÓN
	BOMBA	P-256 A	PRODUCTO GASÓLEO ATMOSFÉRICO	BAJA TENSIÓN
	BOMBA	P-257 B	REFLUJO INFERIOR T250	BAJA TENSIÓN
	BOMBA	P-281 A	BUTANOS T252	BAJA TENSIÓN
	BOMBA	P-281 B		
	BOMBA	P-265 A	AGUA AL DESALADOR	BAJA TENSIÓN
	BOMBA	P-265 B		
	BOMBA	P-251 B	NAFTA DEBUTANIZADA	BAJA TENSIÓN
	BOMBA	P-254 B	REFLUJO MEDIO T250	BAJA TENSIÓN
	BOMBA	P-255 B	PRODUCTO ACPM	BAJA TENSIÓN
V A C Í O	BOMBA	P-259 B	REF. CIMA T-253/GASÓLEO LIVIANO DE VACÍO	BAJA TENSIÓN
	BOMBA	P-260 B	REFLUJO MEDIO T253/GASÓLEO PESADO VACÍO GPV	MEDIA TENSIÓN
	BOMBA	P-271 B	FONDOS DE VACÍO T253	MEDIA TENSIÓN
	BOMBA	P-258 B	CARGA CRUDO REDUCIDO A H-251	BAJA TENSIÓN
	BOMBA	P-261 B	RECICLO T253	BAJA TENSIÓN
	BOMBA	P-262	GASÓLEO PESADO VACÍO A ORTHOFLOW	BAJA TENSIÓN

ANEXO D. Lista de equipos consumidores de vapor

USO DE LA ENERGÍA EN FORMA DE VAPOR				
SECCIÓN	EQUIPO	NOMENCLATURA	TIPO VAPOR[psig]	SERVICIO
A M O S F É R I C A	BOMBA	P-250 C	400	CARGA CRUDO A U250
	BOMBA	P-275 C	400	REFORZADORA DE CRUDO
	BOMBA	P-251 A	150	NAFTA A DEBUTANIZAR
	BOMBA	P-252 C	150	REFLUJO CIMA T250
	BOMBA	P-253 C	150	PRODUCTO JET A1
	BOMBA	P-256 B	150	PRODUCTO GASÓLEO ATMOSFÉRICO
	BOMBA	P-257 C	150	REFLUJO INFERIOR T250
	TORRE ATMOSFÉRICA	T-250	50	EMPLEADO COMO VAPOR DE DESPOJO PARA ELIMINAR LOS COMPONENTES DE LA TORRE ATMOSFÉRICA CON PUNTOS DE EBULLICIÓN MENOR
	TORRE DESPOJADORA	T-251 A	50	EMPLEADO COMO VAPOR DE DESPOJO PARA ELIMINAR LOS COMPONENTES DE LAS TORRES DESPOJADORAS CON PUNTOS DE EBULLICIÓN MENOR
	TORRE DESPOJADORA	T-251 B	50	
TORRE DESPOJADORA	T-251 C	50		
V A C Í O	BOMBA	P-259 C	150	REF. CIMA T-253/GASÓLEO LIVIANO DE VACÍO
	BOMBA	P-260 C	400	REFLUJO MEDIO T253/GASOLEO PESADO VACÍO GPV
	BOMBA	P-271 C	400	FONDOS DE VACÍO T253
	BOMBA	P-258 C	400	CARGA CRUDO REDUCIDO A H-251
	BOMBA	P-261 C	150	RECICLO T253
	EYECTOR	J-250	150	FLUIDO MOTRIZ COMUNMENTE USADO EN LOS EYECTORES QUE PRODUCEN VACÍO
	EYECTOR	J-251 C/D	150	
	EYECTOR	J-252 C/D	150	
	TORRE DE VACÍO	T-253	50	EMPLEADO COMO VAPOR DE DESPOJO PARA ELIMINAR LOS COMPONENTES DE LA TORRE DE VACÍO CON PUNTOS DE EBULLICIÓN MENOR
HORNO	H-254	150	A LA ENTRADA DE CADA SERPENTÍN SE INYECTA VAPOR PARA SU LIMPIEZA	

ANEXO E. Datos de carga y consumo de energía total

FECHA	SECCION ATMOSFERICA		SECCION DE VACIO	
	CARGA	CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA	CARGA	CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA
	BPD	MBTU	BPD	MBTU
27/11/2013	4.454,78	186,13	34 14,3 130 12	881,0362 139
28/11/2013	9.724,61	243,45	5609,108027	628,4547069
29/11/2013	14.988,84	668,15	9855,580309	633,4026805
30/11/2013	15.279,30	1.071,35	12 135,84397	480,3986367
01/12/2013	27.810,56	1.587,08	1853,160055	10 11,649 175
02/12/2013	36.180,45	1.992,20	29076,7925	1116,488854
03/12/2013	38.224,54	2.040,62	32874,22 165	1284,008862
04/12/2013	41.294,95	2.115,54	35722,02983	1766,497875
05/12/2013	40.559,26	2.118,15	32071,30525	1762,0 13023
06/12/2013	40.291,77	2.021,23	35676,64574	1548,44084
07/12/2013	39.964,11	2.088,94	36272,09719	1620,832537
08/12/2013	37.915,68	1.938,97	36635,35972	16 18,602057
09/12/2013	37.862,48	1.983,97	37250,72242	1645,022069
10/12/2013	39.046,18	2.029,11	36956,97743	1597,885283
11/12/2013	35.938,49	1.977,87	37687,68756	1624,092685
12/12/2013	38.993,15	2.025,37	37972,22254	160 1,249 191
13/12/2013	39.217,15	2.119,94	35716,00414	1522,756584
14/12/2013	40.589,59	2.142,83	36212,10009	1450,524247
15/12/2013	40.669,40	2.038,48	35796,55376	1464,383914
16/12/2013	39.667,42	1.963,82	36901,90497	1572,402891
17/12/2013	39.797,69	2.151,57	36005,6938	1884,952953
18/12/2013	40.266,74	2.236,22	35241,08993	2265,966667
19/12/2013	40.561,26	2.367,36	34808,05367	1999,948233
20/12/2013	39.936,61	2.192,64	37419,06399	1670,075355
21/12/2013	39.514,38	2.021,80	37713,24777	1900,41627
22/12/2013	39.588,62	2.258,21	37585,57783	1974,443122
23/12/2013	38.613,14	2.228,96	37961,34442	2132,799744
24/12/2013	39.723,54	2.311,61	37927,73386	2125,974098
25/12/2013	40.117,90	2.313,56	38000,89015	2322,974908
26/12/2013	39.688,36	2.285,99	37728,20942	2300,484031
27/12/2013	40.008,74	2.335,18	36685,13994	2291,464543
28/12/2013	40.303,81	2.369,60	37148,53576	2285,983837
29/12/2013	35.145,36	2.004,27	31645,49288	1901,489902
30/12/2013	0,16	34,79	121,305519	15,46694976
31/12/2013	29.727,95	1.685,78	26437,36769	1747,520537
01/01/2014	41.684,77	2.292,79	36710,14525	1959,708104
02/01/2014	40.239,16	2.220,99	36810,52162	2106,41544
03/01/2014	37.066,88	2.033,90	37607,6403	1757,823664
04/01/2014	36.255,52	1.932,64	37958,77682	1855,127343
05/01/2014	35.401,21	1.880,10	37865,91648	1830,795182
06/01/2014	35.057,37	1.911,68	36633,98145	1771,698449
07/01/2014	35.466,21	1.973,02	37213,80621	1726,442233
08/01/2014	35.844,51	2.007,83	37908,10555	2038,692223
09/01/2014	38.747,79	2.180,66	37997,349	2005,878081
10/01/2014	38.711,81	2.226,80	36246,86313	1987,903043
11/01/2014	38.710,94	2.230,88	36344,20429	2024,20217
12/01/2014	39.289,78	2.234,49	37748,43793	2059,669151
13/01/2014	39.283,78	2.224,37	37723,35272	1926,067607
14/01/2014	39.559,27	2.363,33	37649,53175	2167,374559
15/01/2014	41.660,66	2.557,57	37021,01596	1887,23412
16/01/2014	41.720,52	2.583,48	35816,38935	1887,116212
17/01/2014	41.327,97	2.518,38	37681,4187	1917,990942
18/01/2014	40.377,71	2.399,62	36558,43845	1889,210795
19/01/2014	37.758,77	2.238,90	34644,81812	1861,527456
20/01/2014	37.223,11	2.325,05	34495,3	1496,164844
21/01/2014	37.026,36	1.903,76	32571,8438	1677,023446
22/01/2014	36.323,04	2.573,99	33355,35322	1646,253557
23/01/2014	36.584,49	2.621,12	34037,47051	1767,063182
24/01/2014	35.195,89	2.511,81	32449,90692	1755,429762
25/01/2014	38.022,25	2.699,40	34941,07829	1893,609289
26/01/2014	38.130,88	2.676,91	35038,16085	1925,603591
27/01/2014	38.194,93	2.618,57	36981,61252	1950,999799
28/01/2014	37.226,68	2.599,87	33054,48291	1944,338241
29/01/2014	35.776,05	2.511,58	34320,03685	1946,517196
30/01/2014	36.704,86	2.581,18	32065,2282	1941,473428
31/01/2014	37.127,51	2.587,77	32406,39217	1948,195763
01/02/2014	37.080,39	2.077,23	35182,31837	2275,821218
02/02/2014	37.132,57	2.076,63	36133,44996	2272,789613
03/02/2014	37.910,95	2.141,51	36140,95799	2257,009171
04/02/2014	38.921,67	2.016,91	36075,12878	1801,404699
05/02/2014	39.535,53	2.047,73	35252,84792	1745,986996
06/02/2014	40.024,50	2.281,28	35079,15569	2206,930563

FECHA	SECCION ATMOSFERICA		SECCION DE VACIO	
	CARGA	CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA	CARGA	CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA
	BPD	MBTU	BPD	MBTU
07/02/2014	32.102,26	1972,91	21365,94391	1832,58071
08/02/2014	38.771,18	2.082,52	32960,50733	2269,743892
09/02/2014	39.800,69	2.156,09	33500,06035	2223,35243
10/02/2014	40.361,22	2.275,71	33279,23193	2309,129944
11/02/2014	39.044,47	2.213,30	32964,12611	2297,125748
12/02/2014	39.988,53	2.256,63	34012,46277	2166,004087
13/02/2014	40.085,98	2.282,16	35305,38022	2185,190005
14/02/2014	39.989,07	2.268,43	36887,37048	2190,0204
15/02/2014	37.957,68	2.096,30	36053,54749	2016,487259
16/02/2014	37.341,44	2.047,92	37419,46343	2041,505991
17/02/2014	37.226,26	2.046,97	37131,43797	2040,853033
18/02/2014	37.711,86	2.092,63	36679,35258	1706,876244
19/02/2014	38.288,40	2.146,20	35985,01039	1770,748437
20/02/2014	38.719,55	2.089,28	35155,00953	1487,950218
21/02/2014	39.050,04	2.035,97	34960,82296	1874,437585
22/02/2014	40.369,76	2.352,23	34761,20977	1811,55162
23/02/2014	39.243,56	2.264,87	33318,14467	1625,761216
24/02/2014	38.931,53	2.259,02	33013,42479	1610,130797
25/02/2014	38.374,70	2.184,91	29816,79449	1570,670958
26/02/2014	39.558,34	2.158,02	32284,42537	1563,366679
27/02/2014	39.167,60	2.130,98	37069,47304	1692,890499
28/02/2014	39.453,62	2.269,49	35833,86648	1882,920567
01/03/2014	40.880,86	2.256,50	37357,87681	1831,040531
02/03/2014	39.404,24	2.161,56	36930,4941	1869,286744
03/03/2014	37.716,30	2.138,90	36564,72758	1899,747968
04/03/2014	41.052,76	2.170,69	34872,94153	1830,542861
05/03/2014	40.868,50	2.058,65	36945,66799	1861,627392
06/03/2014	40.751,59	2.216,05	36062,37284	1913,000867
07/03/2014	40.699,52	2.227,10	36400,30185	1681,389138
08/03/2014	40.456,77	2.226,63	35132,86239	1996,627534
09/03/2014	40.874,66	2.257,82	36533,25204	2074,085652
10/03/2014	41.906,10	2.324,44	36266,21358	2024,814616
11/03/2014	41.565,20	2.282,78	35439,06705	2216,925924
12/03/2014	42.362,22	2.334,06	35960,13808	2184,28691
13/03/2014	41.915,57	2.307,01	34691,6662	2177,156642
14/03/2014	42.369,90	2.431,95	33529,10797	2099,213432
15/03/2014	42.289,68	2.380,53	35659,39853	2294,698864
16/03/2014	41.733,55	2.335,12	37016,96492	2367,343495
17/03/2014	41.050,04	2.306,22	36541,14517	2344,31467
18/03/2014	40.447,12	2.286,04	35557,9659	2356,362192
19/03/2014	40.912,69	2.246,52	35966,5111	2320,221541
20/03/2014	41.301,12	2.218,82	35992,63733	1786,042397
21/03/2014	41.324,21	2.134,48	36574,63126	1911,025932
22/03/2014	41.100,99	2.290,64	36817,59678	2371,591386
23/03/2014	41.368,63	2.317,02	35184,94915	2382,22439
24/03/2014	41.143,52	2.310,41	35713,19991	2380,201867
25/03/2014	41.272,05	2.355,83	35180,84363	2337,604033
26/03/2014	41.109,22	2.346,13	35748,20414	2326,925937
27/03/2014	40.542,37	2.237,10	36320,48895	2273,261162
28/03/2014	41.551,04	2.334,47	34769,78069	2249,453015
29/03/2014	41.182,98	2.306,42	36224,26875	2279,605686
30/03/2014	40.689,33	2.289,54	35260,77842	2397,262921
31/03/2014	41.011,09	2.107,53	34640,43803	1645,030169

ANEXO F. Reporte de la parada programada de la U-250



REPORTE DE SHUTDOWNS REGISTRADOS Unidad: U-250: TOPPING 250 ATM Desde : 01-SEP-2013 a 31-ENE-2014



Unidad	Equipo	Clase de Equipo	Tipo de Equipo	Fch Reg Shdwn	Fecha Inicial	Fecha Final	Dias	Categoría	Código	Razón	Sección Causante	Causa Raíz	Proc. Responsable	Descripción	Acciones a Ejecutar	Acciones Implementadas	Usuario
U-250:TOPPING 250 ATM	N/A	N/A	E02 Equipo Estático	01-12-2013 10:47	15-09-2013 20:00:00	01-12-2013 09:00:00	78.54	1a. Mantenimiento o Paradas Planeadas	TAC Inspección General para cerrar ciclo de la corrida	R01 Inspección General de la Unidad	N/A	Reparación e inspección general de la unidad. Revamp por PMRB.	MANTENIMIENTO T/A	Parada para reparación e inspección general de la unidad, incluyendo alcance de revamp planeado por PMRB.	- Alcance programado por mantenimiento mayor. - Alcance programado por proyecto de revamp PMRB.	SI	ARIAS MOLINA ,JUAN CARLOS
U-250:TOPPING 250 ATM	N/A	N/A	E02 Equipo Estático	01-01-2014 19:52	29-12-2013 19:30:00	31-12-2013 09:30:00	1.58	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	OT Otras	R11 Inendio o Explosión	N/A	Escape de Hidrocarburo con incendio en brida entrada reflujo inferior T250.	PROYECTOS	El día 29 de Diciembre de 2013 a las 19:30 se presenta escape de Hidrocarburo en brida entrada reflujo inferior de la T250 generando incendio razón por la cual se saca de servicio la unidad para dejarla en posición segura.	Inspeccion Sistemas Afectados. Cambio de Empaques. Cambio de Valvulas Afectadas.	NO	ARIAS MOLINA ,JUAN CARLOS
U-250:TOPPING 250 ATM	N/A	N/A	E08 Equipo Eléctrico	27-01-2014 08:02	24-01-2014 16:00:00	24-01-2014 16:50:00	0.12	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	OT Otras	R10 Falla de Equipos	N/A	Falta modulo de posición de la valvula MOV-02508.	PROYECTOS	Falta Modulo de posición de la valvula MOV-02508 actuando la interlock de pare de las MP256CD, dejando sin carga el lado vacio y sin produccion de crudo reducido el lado atmosferico . La U250 lado atmosferico y vacio se sacan de servicio porque las bombas MP256CD no dieron arranque.	Se forza señal del HIMA hasta normalizar el modulo en falla de la MOV-02508	SI	ARIAS MOLINA ,JUAN CARLOS

Total de Dias en Paradas = 78.24

©2002. RIS de ECOPETROL S.A. Todos los derechos reservados





REPORTE DE SHUTDOWNS REGISTRADOS
Unidad: U-253: TOPPING 250 VACIO
 Desde : 01-SEP-2013 a 31-ENE-2014



Unidad	Equipo	Clase de Equipo	Tipo de Equipo	Fch Reg Shdwn	Fecha Inicial	Fecha Final	Dias	Categoría	Código	Razón	Sección Causante	Causa Raíz	Proc. Responsable	Descripción	Acciones a Ejecutar	Acciones Implementadas	Usuario
U-253.TOPPING 250 VACIO	N/A	N/A	E02 Equipo Estático	01-12-2013 10:52	15-09-2013 23:59:00	01-12-2013 06:00:00	76.25	1a. Mantenimiento o Paradas Planeadas	TAC Inspección General para cerrar ciclo de la corrida	R01 Inspección General de la Unidad	N/A	Reparación e inspección general de la unidad. Revamp por PMRB.	MANTENIMIENTO T/A	Parada para reparación e inspección general de la unidad, incluyendo alcance de revamp planeado por PMRB.	- Alcance programado por mantenimiento mayor. - Alcance programado por proyecto de revamp PMRB.	SI	ARIAS MOLINA ,JUAN CARLOS
U-253.TOPPING 250 VACIO	N/A	N/A	E10 Problemas Operativos o de Proceso	01-01-2014 20:25	29-12-2013 19:30:00	31-12-2013 09:30:00	1.58	1c. Consecuencial	OT Otras	R04 Aguas Arriba	U-250.TOPPING 250 ATM	Escape de hidrocarburo con incendio en brida entrada reflujo inferior T250 lado atmosférico.	PROYECTOS	El día 29 de Diciembre de 2013 a las 19:30 se presenta escape de Hidrocarburo en brida entrada reflujo inferior de la T250 generando incendio razon por la cual se saca de servicio la U250 lado atmosférico para dejarla en posición segura. Con esto la U250 lado vacio queda sin carga suficiente razon por la cual tambien se saca de servicio de manera simultanea.	Cambio de empaques y válvulas. Reaprete de Bidas. Inspeccion zonas afectadas. Colocar en servicio U250 Lado Atmosferico.	NO	ARIAS MOLINA ,JUAN CARLOS
U-253.TOPPING 250 VACIO	N/A	N/A	E06 Equipo Eléctrico	27-01-2014 08:14	24-01-2014 16:00:00	24-01-2014 18:50:00	0.12	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	OT Otras	R10 Falla de Equipos	N/A	Falla Modulo de posición de la válvula MOV-02506	PROYECTOS	Falla Modulo de posición de la válvula MOV-02506 actuando la interlock de pare de las MP256CD, dejando sin carga el lado vacio y sin produccion de crudo reducido el lado atmosférico. La U250 lado atmosférico y vacio se sacan de servicio porque las bombas MP256CD no dieron arranque.	Se forzo señal del HIMA hasta normalizar modulo en falla de la MOV02506.	SI	ARIAS MOLINA ,JUAN CARLOS

Total de Dias en Paradas = 77.95

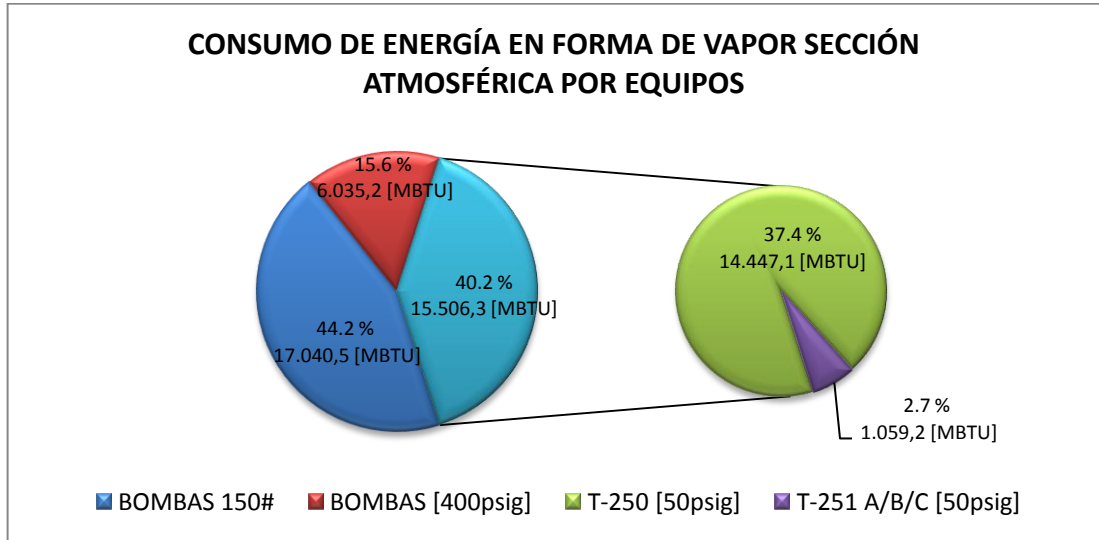
©2002. RIS de ECOPETROL S.A. Todos los derechos reservados



ANEXO G. Consumo detallado de energía en de vapor

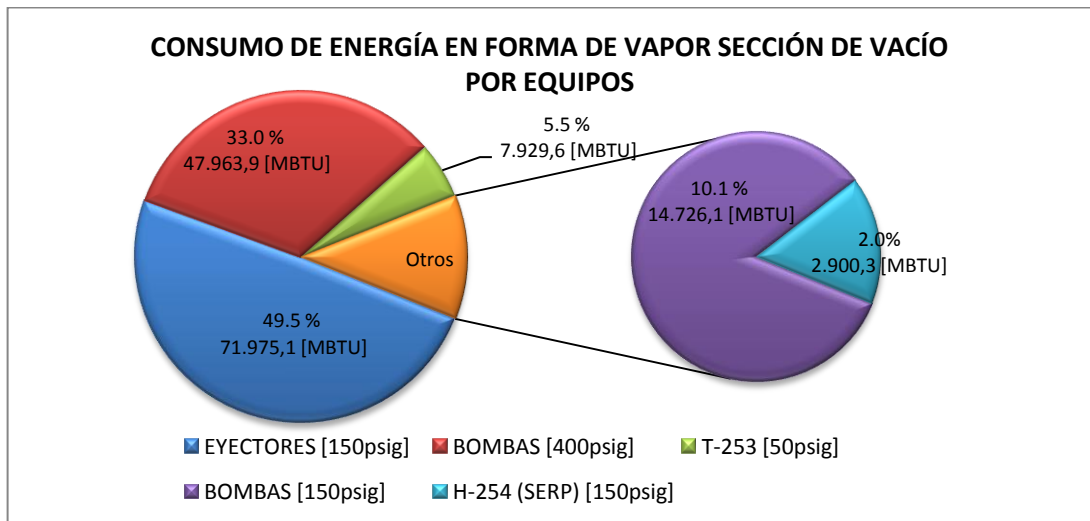
Sección atmosférica:

FIGURA 19. Consumo de energía en forma de vapor de la Sección atmosférica por equipos.



Sección de vacío:

FIGURA 20. Consumo de energía en forma de vapor de la Sección de vacío por equipos.



ANEXO H. Métodos de depuración de datos

Sección Atmosférica

MÉTODO	LÍNEA BASE	R ²	ANÁLISIS R ²	FIABILIDAD	ANÁLISIS F
RESIDUOS	$y=0.0517x+158.68$	0.909	FUERTE	87%	FUERTE
DESVIACIÓN CONSUMO +/-1	$y=0.0407x+584.95$	0.302	MALA	86%	FUERTE
CAJA Y BIGOTE	$y=0.0255x+1224.7$	0.074	MUY MALA	94%	MUY FUERTE

Sección de Vacío

MÉTODO	LÍNEA BASE	R ²	ANÁLISIS R ²	FIABILIDAD	ANÁLISIS F
RESIDUOS	$y=0.049x+195.08$	0.738	FUERTE	71%	FUERTE
DESVIACIÓN CONSUMO +/-1	$y=0.0233x+1113.1$	0.040	MUY MALA	96%	MUY FUERTE
CAJA Y BIGOTE	$y=0.0329x+771.46$	0.104	MUY MALA	95.2%	MUY FUERTE

ANEXO I. Método residual

Procedimiento para mejorar la correlación de la línea base mediante el método de residual:

El residual (ϵ), es la diferencia entre el valor observado correspondiente al valor medio del consumo real E [MBTU/día] y el valor estimado por la línea base calculada a partir de la regresión lineal en el gráfico de tendencia de consumo vs producción E' , es decir:

$$\epsilon = E - E'$$

Para este análisis se usa el residual estandarizado, el cual se obtiene al dividir el residual entre la desviación estándar del residual.

$$\epsilon_{\text{std}} = \epsilon / S_{\epsilon}$$

Se observa en la tabla 10 y 11 los datos filtrados para las secciones vacío y atmosférica respectivamente en la realización de la línea base, teniendo en cuenta que valores con residual estándar mayor e igual a 1.22 e inferior o igual a -1.22 para la sección de vacío y la sección atmosférica el residual estándar mayor e igual a 1.3 e inferior o igual a -1.3 se consideran como datos atípico y se filtran.

TABLA 3.Filtrado de datos atípicos por método residuales. Sección de Vacío

FECHA	CARGA [BPD]	TOTAL CONSUMO [MBTU] E	DESVIACION ESTANDAR			FECHA	CARGA [BPD]	TOTAL CONSUMO [MBTU] E	DESVIACION ESTANDAR		
			E' =(0,045CARGA) +339,76	RESIDUO E-E'	RESIDUO ESTANDAR				E' =(0,045CARGA) +339,76	RESIDUO E-E'	RESIDUO ESTANDAR
27/11/2013	3.414,31	881,0362139	493,40395	387,63	1,4	29/12/2013	3.1645,49	1901,489902	1763,80705	137,68	0,5
28/11/2013	5.609,11	628,4547069	592,16995	36,28	0,1	30/12/2013	12,130	15,46694976	345,2185	(329,75)	(12)
29/11/2013	9.855,58	633,4026805	783,2611	(149,86)	(0,5)	31/12/2013	26,437,37	1747,520537	1529,44165	218,08	0,8
30/11/2013	12.135,84	480,3986367	885,8728	(405,47)	(1,5)	01/01/2014	36.710,15	1959,708104	1991,71675	(32,01)	(0,1)
01/12/2013	18.531,60	1011,649175	1173,682	(162,03)	(0,6)	02/01/2014	36.810,52	2106,41544	1996,2334	110,18	0,4
02/12/2013	29.076,79	1116,488854	1648,21555	(531,73)	(2,0)	03/01/2014	37.607,64	1757,823664	2032,1038	(274,28)	(1,0)
03/12/2013	32.874,22	1284,008862	1819,0999	(535,09)	(2,0)	04/01/2014	37.958,78	1855,127343	2047,9051	(192,78)	(0,7)
04/12/2013	35.722,03	1766,497875	1947,25135	(180,75)	(0,7)	05/01/2014	37.865,92	1830,795182	2043,7264	(212,93)	(0,8)
05/12/2013	32.071,31	1762,013023	1782,96895	(20,96)	(0,1)	06/01/2014	36.633,98	1771,698449	1988,2891	(216,59)	(0,8)
06/12/2013	35.676,65	1548,44084	1945,20925	(396,77)	(1,5)	07/01/2014	37.213,81	1726,442233	2014,38145	(287,94)	(1,1)
07/12/2013	36.272,10	1620,832537	1972,0045	(351,17)	(1,3)	08/01/2014	37.908,11	2038,692223	2045,62495	(6,93)	(0,0)
08/12/2013	36.635,36	1618,602057	1988,3512	(369,75)	(1,4)	09/01/2014	37.997,35	2005,878081	2049,64075	(43,76)	(0,2)
09/12/2013	37.250,72	1645,022069	2016,0424	(371,02)	(1,4)	10/01/2014	36.246,86	1987,903043	1970,8687	17,03	0,1
10/12/2013	36.956,98	1597,885283	2002,8241	(404,94)	(1,5)	11/01/2014	36.344,20	2024,20217	1975,249	48,95	0,2
11/12/2013	37.687,69	1624,092685	2035,70605	(411,61)	(1,5)	12/01/2014	37.748,44	2059,669151	2038,4398	21,23	0,1
12/12/2013	37.972,22	1601,249191	2048,5099	(447,26)	(1,6)	13/01/2014	37.723,35	1926,067607	2037,31075	(111,24)	(0,4)
13/12/2013	35.716,00	1522,756584	1946,98	(424,22)	(1,6)	14/01/2014	37.649,53	2167,374559	2033,98885	133,39	0,5
14/12/2013	36.212,10	1450,524247	1969,3045	(518,78)	(1,9)	15/01/2014	37.021,02	1887,23412	2005,7059	(118,47)	(0,4)
15/12/2013	35.796,55	1464,383914	1950,60475	(486,22)	(1,8)	16/01/2014	35.816,39	1887,116212	1951,49755	(64,38)	(0,2)
16/12/2013	36.901,90	1572,402891	2000,3455	(427,94)	(1,6)	17/01/2014	37.681,42	1917,990942	2035,4239	(117,43)	(0,4)
17/12/2013	36.005,69	1884,952953	1960,01605	(75,06)	(0,3)	18/01/2014	36.558,44	1889,210795	1984,8898	(95,68)	(0,4)
18/12/2013	35.241,09	2265,966667	1925,60905	340,36	1,2	19/01/2014	34.644,82	1861,527456	1898,7769	(37,25)	(0,1)
19/12/2013	34.808,05	1999,948233	1906,12225	93,83	0,3	20/01/2014	34.495,30	1496,164844	1892,0485	(395,88)	(1,5)
20/12/2013	37.419,06	1670,075355	2023,6177	(353,54)	(1,3)	21/01/2014	32.571,84	1677,023446	1805,4928	(128,47)	(0,5)
21/12/2013	37.713,25	1900,41627	2036,85625	(136,44)	(0,5)	22/01/2014	33.355,35	1646,253557	1840,75075	(194,50)	(0,7)
22/12/2013	37.585,58	1974,443122	2031,1111	(56,67)	(0,2)	23/01/2014	34.037,47	1767,063182	1871,44615	(104,38)	(0,4)
23/12/2013	37.961,34	2132,799744	2048,0203	84,78	0,3	24/01/2014	32.449,91	1755,429762	1800,00595	(44,58)	(0,2)
24/12/2013	37.927,73	2125,974098	2046,50785	79,47	0,3	25/01/2014	34.941,08	1893,609289	1912,1086	(18,50)	(0,1)
25/12/2013	38.000,89	2322,974908	2049,80005	273,17	1,0	26/01/2014	35.038,16	1925,603591	1916,4772	9,13	0,0
26/12/2013	37.728,21	2300,484031	2037,52945	262,95	1,0	27/01/2014	36.981,61	1950,999799	2003,93245	(52,93)	(0,2)
27/12/2013	36.685,14	2291,464543	1990,5913	300,87	1,1	28/01/2014	33.054,48	1944,338241	1827,2116	117,13	0,4
28/12/2013	37.148,54	2285,983837	2011,4443	274,54	1,0	29/01/2014	34.320,04	1946,517196	1884,1618	62,36	0,2

FECHA	CARGA [BPD]	TOTAL CONSUMO [MBTU] E	DESVIACION ESTANDAR			FECHA	CARGA [BPD]	TOTAL CONSUMO [MBTU] E	DESVIACION ESTANDAR		
			E' =(0,045CARGA) +339,76	RESIDUO E-E	RESIDUO ESTANDAR				E' =(0,045CARGA) +339,76	RESIDUO E-E	RESIDUO ESTANDAR
30/01/2014	32.065,23	194,1473428	1782,69535	158,78	0,6	03/03/2014	36.564,73	1899,747968	1985,17285	(85,42)	(0,3)
31/01/2014	32.406,39	1948,195763	1798,04755	150,15	0,6	04/03/2014	34.872,94	1830,542861	1909,0423	(78,50)	(0,3)
01/02/2014	35.182,32	2275,821218	1922,9644	352,86	1,3	05/03/2014	36.945,67	1861,627392	2002,31515	(140,69)	(0,5)
02/02/2014	36.133,45	2272,789613	1965,76525	307,02	1,1	06/03/2014	36.062,37	1913,000867	1962,56665	(49,57)	(0,2)
03/02/2014	36.140,96	2257,009171	1966,1032	290,91	1,1	07/03/2014	36.400,30	1681,389138	1977,7735	(296,38)	(1,1)
04/02/2014	36.075,13	1801,404699	1963,14085	(161,74)	(0,6)	08/03/2014	35.132,86	1996,627534	1920,7387	75,89	0,3
05/02/2014	35.252,85	1745,986996	1926,13825	(180,15)	(0,7)	09/03/2014	36.533,25	2074,085652	1983,75625	90,33	0,3
06/02/2014	35.079,16	2206,930563	1918,3222	288,61	1,1	10/03/2014	36.266,21	2024,814616	1971,73945	53,08	0,2
07/02/2014	21.365,94	1832,58071	1301,2273	53,135	1,9	11/03/2014	35.439,07	2216,925924	1934,51815	282,41	1,0
08/02/2014	32.960,51	2269,743892	1822,98295	446,76	1,6	12/03/2014	35.960,14	2184,28691	1957,9663	226,32	0,8
09/02/2014	33.500,06	2223,35243	1847,2627	376,09	1,4	13/03/2014	34.691,66	2177,156642	1900,8847	276,27	1,0
10/02/2014	33.279,23	2309,129944	1837,32535	471,80	1,7	14/03/2014	33.529,11	2099,213432	1848,56995	250,64	0,9
11/02/2014	32.964,13	2297,125748	1823,14885	473,98	1,7	15/03/2014	35.659,40	2294,698864	1944,433	350,27	1,3
12/02/2014	34.012,46	2166,004087	1870,3207	295,68	1,1	16/03/2014	37.016,96	2367,343495	2005,5232	361,82	1,3
13/02/2014	35.305,38	2185,190005	1928,5021	256,69	0,9	17/03/2014	36.541,15	2344,31467	1984,1175	360,20	1,3
14/02/2014	36.887,37	2190,0204	1999,69165	190,33	0,7	18/03/2014	35.557,97	2356,362192	1939,86865	416,49	1,5
15/02/2014	36.053,55	2016,487259	1962,16975	54,32	0,2	19/03/2014	35.966,51	2320,221541	1958,25295	361,97	1,3
16/02/2014	37.419,46	2041,505991	2023,6357	17,87	0,1	20/03/2014	35.992,64	1786,042397	1959,4288	(173,39)	(0,6)
17/02/2014	37.131,44	2040,853033	2010,6748	30,18	0,1	21/03/2014	36.574,63	1911,025932	1985,61835	(74,59)	(0,3)
18/02/2014	36.679,35	1706,876244	1990,33075	(283,45)	(1,0)	22/03/2014	36.817,60	2371,591386	1996,552	375,04	1,4
19/02/2014	35.985,01	1770,748437	1959,08545	(188,34)	(0,7)	23/03/2014	35.184,95	2382,22439	1923,08275	459,14	1,7
20/02/2014	35.155,01	1487,950218	1921,73545	(433,79)	(1,6)	24/03/2014	35.713,20	2380,201867	1946,854	433,35	1,6
21/02/2014	34.960,82	1874,437585	1912,9969	(38,56)	(0,1)	25/03/2014	35.180,84	2337,604033	1922,8978	414,71	1,5
22/02/2014	34.761,21	1811,55162	1904,01445	(92,46)	(0,3)	26/03/2014	35.748,20	2326,925937	1948,429	378,50	1,4
23/02/2014	33.318,14	1625,761216	1839,0763	(213,32)	(0,8)	27/03/2014	36.320,49	2273,261162	1974,18205	299,08	1,1
24/02/2014	33.013,42	1610,130797	1825,3639	(215,23)	(0,8)	28/03/2014	34.769,78	2249,453015	1904,4001	345,05	1,3
25/02/2014	29.816,79	1570,670958	1681,51555	(110,84)	(0,4)	29/03/2014	36.224,27	2279,605686	1969,85215	309,75	1,1
26/02/2014	32.284,43	1563,366679	1792,55935	(229,19)	(0,8)	30/03/2014	35.260,78	2397,262921	1926,4951	470,77	1,7
27/02/2014	37.069,47	1692,890499	2007,88615	(315,00)	(1,2)	31/03/2014	34.640,44	1645,030169	1898,5798	(253,55)	(0,9)
28/02/2014	35.833,87	1882,920567	1952,28415	(69,36)	(0,3)						
01/03/2014	37.357,88	1831,040531	2020,8646	(189,82)	(0,7)						
02/03/2014	36.930,49	1869,286744	2001,63205	(132,35)	(0,5)						

TABLA 4. Filtrado de datos atípicos por método residual Sección Atmosférica

FECHA	CARGA [BPD]	TOTAL CONSUMO [MBTU] E	DESVIACIÓN ESTÁNDAR			FECHA	CARGA [BPD]	TOTAL CONSUMO [MBTU] E	DESVIACIÓN ESTÁNDAR		
			$E'=(0.0537*carga)+111.63$	Residuo [E-E']	Residuo estándar				$E'=(0.0537*carga)+111.63$	Residuo [E-E']	Residuo estándar
27/11/2013	4,454.78	186.13	350.85	-164.72	-0.9	31/12/2013	29,727.95	1685.78	1708.02	-22.24	-0.1
28/11/2013	9,724.61	243.45	633.84	-390.39	-2.1	01/01/2014	41,684.77	2292.79	2350.10	-57.31	-0.3
29/11/2013	14,988.84	668.15	916.53	-248.38	-1.4	02/01/2014	40,239.16	2220.99	2272.47	-51.49	-0.3
30/11/2013	15,279.30	1071.35	932.13	139.22	0.8	03/01/2014	37,066.88	2033.90	2102.12	-68.22	-0.4
01/12/2013	27,810.56	1587.08	1605.06	-17.97	-0.1	04/01/2014	36,255.52	1932.64	2058.55	-125.91	-0.7
02/12/2013	36,180.45	1992.20	2054.52	-62.32	-0.3	05/01/2014	35,401.21	1880.10	2012.67	-132.57	-0.7
03/12/2013	38,224.54	2040.62	2164.29	-123.67	-0.7	06/01/2014	35,057.37	1911.68	1994.21	-82.53	-0.5
04/12/2013	41,294.95	2115.54	2329.17	-213.63	-1.2	07/01/2014	35,466.21	1973.02	2016.17	-43.15	-0.2
05/12/2013	40,559.26	2118.15	2289.66	-171.51	-0.9	08/01/2014	35,844.51	2007.83	2036.48	-28.65	-0.2
06/12/2013	40,291.77	2021.23	2275.30	-254.07	-1.4	09/01/2014	38,747.79	2180.66	2192.39	-11.72	-0.1
07/12/2013	39,964.11	2088.94	2257.70	-168.76	-0.9	10/01/2014	38,711.81	2226.80	2190.45	36.35	0.2
08/12/2013	37,915.68	1938.97	2147.70	-208.74	-1.1	11/01/2014	38,710.94	2230.88	2190.41	40.47	0.2
09/12/2013	37,862.48	1983.97	2144.85	-160.88	-0.9	12/01/2014	39,289.78	2234.49	2221.49	12.99	0.1
10/12/2013	39,046.18	2029.11	2208.41	-179.30	-1.0	13/01/2014	39,283.78	2224.37	2221.17	3.20	0.0
11/12/2013	35,938.49	1977.87	2041.53	-63.66	-0.3	14/01/2014	39,559.27	2363.33	2235.96	127.37	0.7
12/12/2013	38,993.15	2025.37	2205.56	-180.19	-1.0	15/01/2014	41,660.66	2557.57	2348.81	208.76	1.1
13/12/2013	39,217.15	2119.94	2217.59	-97.66	-0.5	16/01/2014	41,720.52	2583.48	2352.02	231.45	1.3
14/12/2013	40,589.59	2142.83	2291.29	-148.46	-0.8	17/01/2014	41,327.97	2518.38	2330.94	187.43	1.0
15/12/2013	40,669.40	2038.48	2295.58	-257.10	-1.4	18/01/2014	40,377.71	2399.62	2279.91	119.71	0.7
16/12/2013	39,667.42	1963.82	2241.77	-277.95	-1.5	19/01/2014	37,758.77	2238.90	2139.28	99.63	0.5
17/12/2013	39,797.69	2151.57	2248.77	-97.20	-0.5	20/01/2014	37,223.11	2325.05	2110.51	214.54	1.2
18/12/2013	40,266.74	2236.22	2273.95	-37.74	-0.2	21/01/2014	37,026.36	1903.76	2099.95	-196.19	-1.1
19/12/2013	40,551.26	2367.36	2289.23	78.13	0.4	22/01/2014	36,323.04	2573.99	2062.18	511.81	2.8
20/12/2013	39,936.61	2192.64	2256.23	-63.59	-0.3	23/01/2014	36,584.49	2621.12	2076.22	544.91	3.0
21/12/2013	39,514.38	2021.80	2233.55	-211.75	-1.2	24/01/2014	35,195.89	2511.81	2001.65	510.16	2.8
22/12/2013	39,588.62	2258.21	2237.54	20.67	0.1	25/01/2014	38,022.25	2699.40	2153.42	545.98	3.0
23/12/2013	38,613.14	2228.96	2185.16	43.81	0.2	26/01/2014	38,130.88	2676.91	2159.26	517.65	2.8
24/12/2013	39,723.54	2311.61	2244.78	66.83	0.4	27/01/2014	38,194.93	2618.57	2162.70	455.87	2.5
25/12/2013	40,117.90	2313.56	2265.96	47.60	0.3	28/01/2014	37,226.68	2599.87	2110.70	489.16	2.7
26/12/2013	39,688.36	2285.99	2242.89	43.10	0.2	29/01/2014	35,776.05	2511.58	2032.80	478.78	2.6
27/12/2013	40,008.74	2335.18	2260.10	75.08	0.4	30/01/2014	36,704.86	2581.18	2082.68	498.50	2.7
28/12/2013	40,303.81	2369.60	2275.94	93.66	0.5	31/01/2014	37,127.51	2587.77	2105.38	482.39	2.6
29/12/2013	35,145.36	2004.27	1998.94	5.33	0.0	01/02/2014	37,080.39	2077.23	2102.85	-25.62	-0.1
30/12/2013	0.16	314.79	111.64	203.15	1.1	02/02/2014	37,132.57	2076.63	2105.65	-29.01	-0.2

FECHA	CARGA [BPD]	TOTAL CONSUMO [MBTU] E	DESVIACIÓN ESTÁNDAR			FECHA	CARGA [BPD]	TOTAL CONSUMO [MBTU] E	DESVIACIÓN ESTÁNDAR		
			$E'=(0.0537*carga)+111.63$	Residuo [E-E']	Residuo estándar				$E'=(0.0537*carga)+111.63$	Residuo [E-E']	Residuo estándar
03/02/2014	37,910.95	2141.51	2147.45	-5.94	0.0	09/03/2014	40,874.66	2257.82	2306.60	-48.78	-0.3
04/02/2014	38,921.67	2016.91	2201.72	-184.81	-1.0	10/03/2014	41,906.10	2324.44	2361.99	-37.55	-0.2
05/02/2014	39,535.53	2047.73	2234.69	-186.96	-1.0	11/03/2014	41,565.20	2282.78	2343.68	-60.90	-0.3
06/02/2014	40,024.50	2281.28	2260.95	20.34	0.1	12/03/2014	42,362.22	2334.06	2386.48	-52.42	-0.3
07/02/2014	32,102.26	1972.91	1835.52	137.39	0.8	13/03/2014	41,915.57	2307.01	2362.50	-55.49	-0.3
08/02/2014	38,771.18	2082.52	2193.64	-111.13	-0.6	14/03/2014	42,369.90	2431.95	2386.89	45.05	0.2
09/02/2014	39,800.69	2156.09	2248.93	-92.83	-0.5	15/03/2014	42,289.68	2380.53	2382.59	-2.06	0.0
10/02/2014	40,361.22	2275.71	2279.03	-3.32	0.0	16/03/2014	41,733.55	2335.12	2352.72	-17.60	-0.1
11/02/2014	39,014.47	2213.30	2206.71	6.59	0.0	17/03/2014	41,050.04	2306.22	2316.02	-9.80	-0.1
12/02/2014	39,988.53	2256.63	2259.01	-2.38	0.0	18/03/2014	40,447.12	2286.04	2283.64	2.40	0.0
13/02/2014	40,085.98	2282.16	2264.25	17.91	0.1	19/03/2014	40,912.69	2246.52	2308.64	-62.12	-0.3
14/02/2014	39,989.07	2268.43	2259.04	9.39	0.1	20/03/2014	41,301.12	2218.82	2329.50	-110.68	-0.6
15/02/2014	37,957.68	2096.30	2149.96	-53.66	-0.3	21/03/2014	41,324.21	2134.48	2330.74	-196.26	-1.1
16/02/2014	37,341.44	2047.92	2116.87	-68.94	-0.4	22/03/2014	41,100.99	2290.64	2318.75	-28.11	-0.2
17/02/2014	37,226.26	2046.97	2110.68	-63.71	-0.3	23/03/2014	41,368.63	2317.02	2333.13	-16.10	-0.1
18/02/2014	37,711.86	2092.63	2136.76	-44.13	-0.2	24/03/2014	41,143.52	2310.41	2321.04	-10.63	-0.1
19/02/2014	38,288.40	2146.20	2167.72	-21.51	-0.1	25/03/2014	41,272.05	2355.83	2327.94	27.90	0.2
20/02/2014	38,719.55	2089.28	2190.87	-101.59	-0.6	26/03/2014	41,109.22	2346.13	2319.20	26.94	0.1
21/02/2014	39,050.04	2035.97	2208.62	-172.65	-0.9	27/03/2014	40,542.37	2237.10	2288.76	-51.66	-0.3
22/02/2014	40,369.76	2352.23	2279.49	72.75	0.4	28/03/2014	41,551.04	2334.47	2342.92	-8.45	0.0
23/02/2014	39,243.56	2264.87	2219.01	45.86	0.3	29/03/2014	41,182.98	2306.42	2323.16	-16.74	-0.1
24/02/2014	38,931.53	2259.02	2202.25	56.76	0.3	30/03/2014	40,689.33	2289.54	2296.65	-7.11	0.0
25/02/2014	38,374.70	2184.91	2172.35	12.56	0.1	31/03/2014	41,011.09	2107.53	2313.93	-206.39	-1.1
26/02/2014	39,558.34	2158.02	2235.91	-77.90	-0.4						
27/02/2014	39,167.60	2130.98	2214.93	-83.95	-0.5						
28/02/2014	39,453.62	2269.49	2230.29	39.20	0.2						
01/03/2014	40,880.86	2256.50	2306.93	-50.43	-0.3						
02/03/2014	39,404.24	2161.56	2227.64	-66.07	-0.4						
03/03/2014	37,716.30	2138.90	2137.00	1.91	0.0						
04/03/2014	41,052.76	2170.69	2316.16	-145.47	-0.8						
05/03/2014	40,868.50	2058.65	2306.27	-247.62	-1.4						
06/03/2014	40,751.59	2216.05	2299.99	-83.94	-0.5						
07/03/2014	40,699.52	2227.10	2297.19	-70.09	-0.4						
08/03/2014	40,456.77	2226.63	2284.16	-57.53	-0.3						