



**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI  
UNIDAD DE POSGRADOS**

**TESIS EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO  
DE MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**Título:**

**MODELOS DE LÍNEA BASE ENERGÉTICA EN EL SISTEMA  
OPERACIONAL DEL BLOQUE 16 DE REPSOL PARA EL PERÍODO  
2004 – 2012 PARA LA NORMA ISO 50001:2011.**

**Autor: MUSO Chango, Carlos Germánico**

**Tutor: PhD. Iliana González Palau**

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Julio - 2015**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADO

Latacunga – Ecuador

---

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de miembros del tribunal de grado aprueban el presente informe en consideración de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Muso Chango Carlos Germánico, con el título de tesis: **“MODELOS DE LÍNEA BASE ENERGÉTICA EN EL SISTEMA OPERACIONAL DEL BLOQUE 16 DE REPSOL PARA EL PERÍODO 2004 – 2012 PARA LA NORMA ISO 50001:2011”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, julio de 2015

Para constancia firman:

.....  
MSc. Giovanna Parra  
PRESIDENTE

.....  
MSc. Paulina Freire  
MIEMBRO

.....  
MSc. Marcelo Barrera  
PROFESIONAL EXTERNO

.....  
MSc. Fabián Salazar  
OPONENTE

## **AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS**

Latacunga, julio de 2015

En mi calidad de Director de Tesis presentada por Muso Chango Carlos Germánico, egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es **“MODELOS DE LÍNEA BASE ENERGÉTICA EN EL SISTEMA OPERACIONAL DEL BLOQUE 16 DE REPSOL PARA EL PERÍODO 2004 – 2012 PARA LA NORMA ISO 50001:2011”**.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente

PhD. Iliana González Palau  
**DIRECTOR DE TESIS**

## **AUTORÍA**

Yo, Muso Chango Carlos Germánico, portador del número de cédula 0502415045, declaro que la presente tesis de grado, es fruto de mi esfuerzo, responsabilidad y disciplina, logrando que los objetivos propuestos se culminen con éxito.

Atentamente

Carlos Germánico Muso Chango  
C.I.: 0502415045

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, a la Virgen Santísima del Cisne, por haberme guiado en cada paso que doy, por haberme dado la fortaleza de seguir adelante y poder culminar con éxito uno más de mis objetivos.

A mi esposa Nancy, a mis hijos Adrián y Karlita que son todo en mi vida, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, por su paciencia, apoyo y amor incondicional.

A mis padres Carlos Emilio y María Juliana quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo incondicional en todo momento, a mis hermanos Nancy y Paúl por ser parte importante de mi vida, y estar siempre pendientes de mí.

De igual manera, quiero dejar constancia de mi reconocimiento de gratitud a la empresa REPSOL, en especial al Ing. Edgar Delgado del Departamento de Ingeniería y Proyectos, al Ing. Vicente Granda representante de E-INPSA, por su gran apoyo y colaboración, quienes cumplieron un rol determinante en la ejecución de este proyecto de tesis.

A mi tutora, Iliana González Palau, a mis profesores asesores Secundino Marrero, Enrique Torres, Tomás Enríquez, Giovanna Parra, Marcelo Barrera, Fabián Salazar y Paulina Freire por haberme apoyado, tutelado y ser mis críticos más severos durante el desarrollo de este trabajo.

Carlos

## **DEDICATORIA**

Este trabajo en opción al título de Máster en Gestión de Energías quiero dedicarle a Dios, que siempre ha estado presente en mi vida, guiándome en el cumplimiento de mis objetivos.

A mi esposa Nancy y a mis hijos Adrián y Karlita, por haberme apoyado en todo momento con su paciencia, amor y con motivación constante, que creyeron en mí y que estuvieron presentes durante todo este tiempo con muestras de afecto, consideración y apoyo incondicional.

A mis seres queridos como son mis padres y mis hermanos, a mi hermano Paúl y a mis hijos Adrián y Karlita que les sirva de guía para decidir su caminos.

Carlos

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADOS**  
**PROGRAMA: “MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS”**

“MODELOS DE LÍNEA BASE ENERGÉTICA EN EL SISTEMA OPERACIONAL DEL BLOQUE 16 DE REPSOL PARA EL PERÍODO 2004 – 2012 PARA LA NORMA ISO 50001:2011”.

Autor: Carlos Germánico Muso Chango

Fecha: Julio de 2015

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**UNIDAD DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TÍTULO:** MODELOS DE LÍNEA BASE ENERGÉTICA EN EL SISTEMA OPERACIONAL DEL BLOQUE 16 DE REPSOL PARA EL PERÍODO 2004 – 2012 PARA LA NORMA ISO 50001:2011

**AUTOR:** MUSO CHANGO, Carlos Germánico

**RESUMEN**

REPSOL tiene una política de eficiencia energética que asume el compromiso de utilizar eficientemente la energía en sus instalaciones, condición importante para obtener la certificación ISO 50001:2011 en el Bloque 16. Los grandes equipos consumidores tienen un buen comportamiento energético, lo que determinó que sea admisible la obtención de los modelos de línea base energética. Se diseñó tres variantes: el modelo 1 es directo, relaciona el comportamiento del consumo de energía eléctrica en el proceso en función de la producción total de fluido que están levantando; el modelo 2 es indirecto, evalúa el consumo específico de energía total del bloque versus la relación “Crudo Producido / Fluido Levantado”; el modelo 3 calcula el consumo eléctrico del proceso en función del flujo que maneja cada uno de los sistemas como son fluido total, crudo liberado y agua de inyección; de las tres variantes propongo el modelo 2 debido a que relaciona directamente el crudo producido que es lo que le da el factor económico a REPSOL. Para la obtención de los modelos se aplicó un enfoque metodológico sistémico, basado en un programa de recorridos por las instalaciones de la planta y una agenda de reuniones con las personas involucradas directamente en la temática. De acuerdo a la evaluación económica realizada, el potencial ahorro ideal es de \$ 12 789 724,25 por año, haciendo trabajar a los equipos en sus curvas de operación para un máximo rendimiento.

**Descriptor:** Gestión energética, línea base energética, Norma ISO 50001:2011.



**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY**  
**POSGRADOS UNIT**  
**MASTER IN ENERGY MANAGEMENT**

**TITLE:** ENERGY BASELINE MODELS TO SYSTEM OPERATION IN OF BLOCK 16 OF REPSOL FOR THE PERIOD 2004-2012 FOR ISO 50001:2011 STANDARD.

**AUTHOR:** MUSO CHANGO, Carlos Germánico

**ABSTRAC**

REPSOL has an energy efficiency policy that is committed to an efficient use of energy in its facilities, an important condition to obtain certifications such as ISO 50001:2011 of the block 16. High-energy consumers have a good energy behavior, which has determined the energy baseline models. Three variants was designed: model 1 is direct, it related the consumption behavior of electrical energy in the process according to the total fluid production that are rising; model 2 is indirect, it assessed the specific total energy consumption of the block versus the relationship “Produced Oil / Raised Fluid”; model 3 calculates the power consumption of the process according to the flow that handles each one of the systems such as total fluid, oil delivery and released injection water; of the three variants, I propose the model 2 because of it relates directly the produced oil that gives the economic factor to REPSOL. In order to obtain the models systematic methodological was applied based on a program which tours the plant facilities and an agenda of meetings with directly people involved in the subject. In accordance to the economic assessment carried out, the potential ideal savings is about \$ 12 789 724,25 per year, making work to equipment in their maximum performance operation curves.

**Descriptors:** Energy management, energy baseline, standard ISO 50001: 2011.

## ÍNDICE

<b>Contenidos</b>	<b>Páginas</b>
PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	ii
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS .....	iii
AUTORÍA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA .....	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRAC .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo 1 EL PROBLEMA .....	3
1.1 Antecedentes del problema .....	3
1.2 Formulación del problema .....	4
1.3 Objeto de estudio.....	4
1.4 Campo de acción de la investigación.....	4
1.5 Justificación de la investigación.....	4
1.6 Objetivos .....	5
1.6.1 Generales.....	5
1.6.2 Específicos .....	5
1.7 Hipótesis.....	5
1.8 Conclusiones .....	6
Capítulo 2 MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Estado del arte sobre el sistema operacional de extracción, transporte y generación de energía para la producción de petróleo .....	7
2.1.1. Sistema de extracción de petróleo.....	7
2.1.2. Sistema de transporte de petróleo .....	8
2.1.3. Generación de energía para la producción de petróleo .....	9
2.2. Descripción del sistema operacional del Bloque 16 de REPSOL.....	10
2.2.1. Sistema eléctrico del Bloque 16.....	10

2.2.2.	Sistema de producción de petróleo del Bloque 16.....	13
2.3.	Teoría relacionada con la eficiencia energética en el sistema operacional del Bloque 16 de REPSOL.....	14
2.3.1.	El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) .....	14
2.3.2.	Compromiso energético de REPSOL en el Bloque 16 .....	14
2.3.3.	Características generales de normas asociadas al programa de certificación y particularidades de la ISO 50001 .....	16
2.4.	Particularidades de la Norma ISO 50001:2011 .....	17
2.4.1	Línea base energética .....	18
2.4.2	Empresas de la Corporación REPSOL en obtener la certificación ISO 50001 .....	19
2.4.3	Modelos de línea base en otras empresas.....	22
2.5	Fundamento legal .....	29
2.5.1	Constitución de la República del Ecuador .....	29
2.6	Definición de términos básicos .....	30
2.7	Conclusiones .....	31
Capítulo 3 METODOLOGÍA .....		32
3.1.	Procedimiento para la obtención de los parámetros de campo .....	32
3.1.1.	Sistema de generación eléctrica en el Bloque 16.....	32
3.1.2.	Sistema de distribución eléctrica en el Bloque 16 .....	34
3.1.3.	Sistema de producción de petróleo .....	34
3.1.4.	Base de datos MAXIMO.....	36
3.2.	Operacionalización de variables y las técnicas e instrumentos a utilizar.. .....	37
3.3.	Modalidad de la investigación .....	38
3.3.1.	De campo .....	38
3.3.2.	Bibliográfica - Documental.....	39
3.4.	Población y muestra .....	39
3.5.	Tipos de investigación.....	39
3.6.	Conclusiones .....	40
Capítulo 4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....		41
4.1.	Resultados de la recolección de datos del sistema de generación de energía eléctrica .....	43
4.2.	Resultados de la recolección de datos del sistema de producción y transporte de petróleo.....	48

4.2.1.	Resultado consumo nominal globales del sistema de producción y transporte de petróleo del Bloque 16 .....	49
4.2.2.	Resultados de consumo nominal del SPF .....	51
4.2.3.	Resultados de consumo nominal del NPF.....	54
4.2.4.	Balance energético de los sistemas de producción y transporte de petróleo del Bloque 16 .....	57
4.3.	Conclusiones .....	60
Capítulo 5 PROPUESTA .....		62
5.1.	Título de la propuesta.....	62
5.2.	Justificación de la propuesta .....	62
5.3.	Objetivo de la propuesta.....	62
5.4.	Estructura de la propuesta .....	62
5.5.	Desarrollo de la propuesta.....	62
5.6.	Revisión de la Línea Base .....	63
5.7.	Metodología para le elaboración de la Línea de Base Energética .....	64
5.7.1.	Modelo 1 relación consumo eléctrico vs producción de fluido .....	65
5.7.2.	Modelo 2 de variables específicas.....	72
5.7.3.	Modelo 3 base multi-variante (sistemas usuarios y consumidores de energía eléctrica) .....	79
5.8.	Limitaciones de los modelos de línea base .....	84
5.9.	Recurso material y humano.....	85
5.10.	Evaluación económica .....	86
5.10.1.	Potencial de ahorro en el sistema de generación eléctrica del Bloque 16.....	86
5.10.2.	Potencial de ahorro en el sistema de producción de petróleo del Bloque 16.....	89
5.10.3.	Potencial de ahorro del sistema de levantamiento artificial.....	90
5.10.4.	Potencial de ahorro del sistema de inyección de agua de formación .....	93
5.10.5.	Potencial de ahorro en el sistema de transporte de petróleo del Bloque 16.....	96
5.10.6.	Potencial de ahorro por sistemas global del Bloque 16 .....	99
5.11.	VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno) .....	100
5.12.	Conclusiones: .....	101
CONCLUSIONES GENERALES .....		102
RECOMENDACIONES GENERALES.....		1033

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	1044
ANEXOS.....	1077

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Normas asociadas al programa de certificación.....	16
Tabla 3.1 Variables mínimas controladas en los equipos .....	36
Tabla 3.2 Variable Independiente: sistema operacional del Bloque 16 de REPSOL .....	37
Tabla 3.3 Variable Dependiente: Línea base energética .....	37
Tabla 4.1 Poder calórico inferior combustibles de generadores .....	45
Tabla 4.2 Balance general del sistema de generación eléctrica .....	48
Tabla 4.3 Resultados globales por sistema del consumo eléctrico nominal del Bloque 16 .....	49
Tabla 4.4 Resultados globales por sistema y área del consumo nominal del Bloque 16.....	50
Tabla 4.5 Resultados consumo nominal por sistemas del SPF .....	51
Tabla 4.6 Resultados consumo nominal sistema de levantamiento artificial por locación del SPF.....	52
Tabla 4.7 Resultados consumo nominal sistema de inyección de agua por locación del SPF .....	53
Tabla 4.8 Resultados consumo nominal por sistemas del NPF .....	54
Tabla 4.9 Resultados consumo nominal sistema de levantamiento artificial por locación del NPF.....	55
Tabla 4.10 Resultados consumo nominal sistema de inyección de agua por locación del NPF.....	56
Tabla 4.11 Consumo eléctrico de usos y consumos por sistema y locación.....	58
Tabla 4.12 Balance de consumo energético eléctrico de usos y consumos .....	59
Tabla 4.13 Cálculo de energía en las teas del Bloque 16.....	60
Tabla 5.1 Matriz de cálculo modelo 1 de línea base RG-26-EC-01 modelos de líneas base energéticas .....	68
Tabla 5.2 Matriz de datos proyección de línea base modelo 1 RG-26-02 proyección modelos de línea base.....	71
Tabla 5.3 Ventajas, desventajas modelo 1 línea base .....	72
Tabla 5.4 Matriz de datos y cálculo línea base modelo 2 RG-26-EC-01 modelos de líneas base energéticas.....	74
Tabla 5.5 Matriz de datos y cálculo proyección línea base modelo 2 RG-26-02 proyección modelos de línea base.....	78
Tabla 5.6 Ventajas, desventajas modelo 2 línea base .....	79
Tabla 5.7 Matriz de datos línea base modelo 3 RG-26-EC-01 modelos de líneas base energéticas.....	81
Tabla 5.8 Resultados regresión múltiple modelo 3.....	82
Tabla 5.9 Ventajas, desventajas modelo 3 línea base .....	84
Tabla 5.10 Presupuesto .....	86
Tabla 5.11 Personal involucrado con su grado de responsabilidad .....	86
Tabla 5.12 Balance energético sistema de generación de energía eléctrica.....	87

Tabla 5.13 Potencia de ahorro sistema de generación eléctrica del Bloque 16 ....	89
Tabla 5.14 Potencia de ahorro sistema de levantamiento artificial del Bloque 16	92
Tabla 5.15 Potencia de ahorro sistema de inyección de agua .....	95
Tabla 5.16 Potencia de ahorro sistema de transporte de crudo del Bloque 16.....	98
Tabla 5.17 Potencial de ahorro global del Bloque 16 por sistemas .....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Generación eléctrica del Bloque 16.....	10
Figura 2.2 Interconexión de transmisión eléctrica NPF y SPF .....	11
Figura 2.3 Correlación de Pérdidas de Producción vs Energía Bruta Producida..	22
Figura 2.4 Correlación de consumo según totalizadores Vs Energía bruta producida.....	23
Figura 2.5 Correlación de consumo según medidores Vs Energía bruta producida .....	23
Figura 2.6 Correlación de consumo según medidores Vs. Energía bruta producida .....	24
Figura 2.7 Línea de base energética total.....	25
Figura 2.8 Línea meta del proceso total .....	26
Figura 2.9 Línea de base energética del proceso de molienda.....	27
Figura 2.10 Línea meta del proceso de Molienda.....	28
Figura 3.1 Cuarto de control del sistema de generación .....	32
Figura 3.2 HMI SCADA de las señales eléctricas del sistema de generación.....	33
Figura 3.3 HMI SCADA de las señales de instrumentación del sistema de generación .....	33
Figura 3.4 Sistemas de monitoreo remoto (micro SCADA SYS600 – ENERVISTA) .....	34
Figura 3.5 HMI SCADA del sistema de producción de petróleo .....	35
Figura 4.1 Diagrama esquemático de recuperación típico en las turbinas.....	47
Figura 4.2 Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por sistemas .....	50
Figura 4.3 Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por sistemas y locación .....	51
Figura 4.4 Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por sistemas SPF.....	52
Figura 4.5 Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por locación, levantamiento artificial SPF.....	53
Figura 4.6 Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por locación, inyección de agua del SPF.....	54
Figura 4.7 Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por sistemas del NPF .....	55
Figura 4.8 Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por locación, levantamiento artificial del NPF .....	56
Figura 4.9 Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por locación, inyección de agua del NPF .....	57
Figura 5.1 Modelo de línea base 1 período enero 2004 – marzo 2014 .....	66
Figura 5.2 Comparación de consumo eléctrico calculado por el modelo 1 con datos reales del período enero 2004 – marzo 2014 .....	69
Figura 5.3 Proyección y líneas de seguimiento: modelo 1 línea base hasta diciembre 2018.....	72
Figura 5.4 Línea base modelo 2, período enero 2004 – marzo 2014.....	75



Figura 5.5 Comparación de consumo eléctrico calculado por el modelo 2 con datos reales del período enero 2004 – marzo 2014 .....	77
Figura 5.6 Proyección y líneas de seguimiento: modelo 2 línea base hasta diciembre 2018.....	79
Figura 5.7 Comparación de consumo eléctrico calculado por el modelo 3 con datos reales del período enero 2004 – marzo 2014 .....	83
Figura 5.8 Proyección y líneas de seguimiento: modelo 3 línea base hasta diciembre 2018.....	84
Figura 5.9 Generación de energía eléctrica por subsistema .....	87
Figura 5.10 Diagrama de flujo energético del sistema de generación eléctrica del Bloque 16 .....	88
Figura 5.11 Balance energético del sistema de generación eléctrica del Bloque 16 .....	89
Figura 5.12 Balance energético del sistema de levantamiento artificial .....	93
Figura 5.13 Balance energético sistema de inyección de agua .....	96
Figura 5.14 Balance energético sistema de transporte de crudo del Bloque 16....	98
Figura 5.15 Balance energético global del Bloque 16 por sistemas .....	100

## INTRODUCCIÓN

El presente documento se enfoca en detallar la forma de obtención de las ecuaciones de cada modelo de línea base para la implementación de la Norma ISO 50001:2011 en el proceso de producción de petróleo del Bloque 16 operado por REPSOL.

Los principales aspectos que se explican se refieren a la información que requiere para el cálculo, la metodología y resultados del mismo para los datos que se han entregado para el propósito.

En cada caso, se adiciona el diseño de la matriz donde se recopilarán los datos y se calculó las variables representadas en cada modelo, con el fin de que se identifique de mejor manera las variables requeridas y producidas por el modelo.

Cabe resaltar que los modelos fueron realizados a partir de datos diarios de producción y consumo de energía del período enero 2004 – diciembre 2012 de las referencias mencionadas.

En los resultados de cada modelo, se presentan las comparaciones gráficas de los datos calculados con los datos reales tanto con los registros históricos disponibles como con las proyecciones calculadas a partir de los datos proporcionados por el Forecast<sup>1</sup> de producción desde enero 2013 hasta diciembre de 2018, fecha en que se termina oficialmente la operación de REPSOL en el Bloque 16.

En el capítulo 1, se analizó el problema de investigación, se realizó la contextualización a niveles macro, meso y micro; se determinó el objeto y campo de la investigación, la justificación y se enuncian los objetivos.

En el capítulo 2, se señala el marco teórico, antecedentes investigativos en los que se describen opiniones y explicaciones de la problemática planteada en este trabajo de investigación; así como también, la conceptualización y las fundamentaciones en la que se especifican las orientaciones teóricas correspondientes, relacionado con los modelos de línea de base energética en la operación del Bloque 16 de REPSOL para el periodo 2004 – 2012.

---

<sup>1</sup> Forecast o pronóstico.- Es la proyección de una tendencia con respecto al tiempo u otra variable.

En el capítulo 3, se presenta la metodología para realizar la investigación: el enfoque metodológico, la modalidad, el tipo de investigación y las técnicas e instrumentos a utilizar.

En el capítulo 4, se presenta el análisis de resultados de los datos obtenidos por los instrumentos aplicados a través de tablas y gráficos estadísticos generados a partir de la información recolectada y calculada.

En el capítulo 5, se plantea la propuesta, de los modelos de línea de base energética en la operación del Bloque 16 de REPSOL para el periodo 2004 – 2012 motivando a la empresa al buen uso de la energía eléctrica. Finalmente se formulan las conclusiones y recomendaciones pertinentes basadas en los resultados de la investigación.

## **Capítulo 1**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 Antecedentes del problema**

REPSOL cuenta con certificaciones de diferentes estándares internacionales, por esta razón se facilita significativamente la implementación del sistema de gestión energético ISO 50001:2011.

Los objetivos alcanzados al cumplir con la Norma ISO 90001 de calidad, permiten que la empresa posea un plan de mejoramiento continuo de los procesos, lo que implica el desarrollo de un plan de gestión y genera una mejora, primordialmente, en las instalaciones eléctricas; esto produjo una mejor estabilidad del proceso y una reducción de los tiempos perdidos.

Al mismo tiempo, para el caso de la Norma ISO 14001, certificación que direcciona sus esfuerzos a mejorar los procesos para identificar y minimizar los impactos contra el medio ambiente, ha permitido, indirectamente, disminuir los consumos de energía e incrementar la eficiencia energética en los procesos de elaboración de los productos finales. Esta reducción de los consumos va asociada a generar menores impactos medioambientales al reducir la demanda de energéticos del sistema de potencia, implementando, por ejemplo, el uso eficiente de la energía como un indicador de impacto ambiental frente a la producción; esto involucra actividades como análisis de consumos, termografías que permitan la evaluación de pérdidas por recalentamiento, dimensionamiento de los conductores eléctricos, uso de variadores de velocidad y el manejo de iluminación que significa ahorros en el consumo con luminarias de alta eficiencia.

Por otro lado, la certificación con la Norma OHSAS 18001, que corresponde al tema de la seguridad, aplicó un beneficio al desarrollar un plan de acción que permitió identificar los potenciales de peligro al realizar instalaciones eléctricas sin cumplir la Norma NFPA 70E , de esta manera se generaron ahorros en los consumos eléctricos, principalmente en materia de pérdidas energéticas.

Es así como cada una de las certificaciones, otorgadas y en proceso, generan un compromiso total de la organización, por lo que el Departamento de Ingeniería de

REPSOL Ecuador y cada uno de los empleados son conscientes de su responsabilidad para el sostenimiento de estas certificaciones, de la mano con un proceso continuo de auditorías internas que permiten identificar las debilidades y fortalezas para cada proceso. Esta estructura de calidad es la base idónea para un proceso de implementación de un sistema de gestión energético ISO 50001:2011.

## **1.2 Formulación del problema**

¿La no existencia de modelos de línea base energética para los sistemas de generación eléctrica y producción de petróleo del Bloque 16 de REPSOL para la Norma ISO 50001:2011?

## **1.3 Objeto de estudio**

Sistema operacional del Bloque 16 de REPSOL.

## **1.4 Campo de acción de la investigación**

Modelos de línea base energética para los sistemas de generación eléctrica y producción de petróleo del Bloque 16 de REPSOL.

## **1.5 Justificación de la investigación**

El estudio de los modelos de línea base energética en la operación de REPSOL en el Bloque 16 es necesario para cumplir uno de los requisitos en la implementación de la Norma ISO 50001:2011 y así de esta manera desarrollar una cultura organizacional para el uso racional y lograr reducir el consumo energético y sus costos.

La investigación busca por la aplicación de la teoría y conceptos básicos de eficiencia energética e impacto ambiental, encontrar explicaciones a situaciones de carácter interno (procesos de producción, generación, transmisión y distribución eléctrica) y del entorno (mercadeo, competencia, etc.). De acuerdo con los objetivos de la investigación su resultado permitirá encontrar soluciones concretas a problemas de eficiencia energética, impacto ambiental y al mismo tiempo a involucrar en la gestión energética a las diferentes áreas de la gestión organizacional.

El establecimiento de los modelos de línea base energética servirán de referencia para comparar el desempeño energético del Bloque 16 a partir de la implementación de medidas de optimización energética donde se evaluarán la variación del consumo para los mismos niveles de producción y se monitorearán indicadores de eficiencia energética.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Generales**

- Obtener los modelos de línea base energética para el sistema operacional del Bloque 16 de REPSOL para el periodo 2004 – 2012 para la Norma ISO 50001:2011.

### **1.6.2 Específicos**

1. Establecer el estado del arte sobre el sistema operacional de extracción, transporte y generación de energía para la producción de petróleo.
2. Describir el sistema operacional del Bloque 16 de REPSOL.
3. Conocer la línea base implementadas en diferentes empresas.
4. Establecer los posibles modelos de línea base energética para el sistema operacional del Bloque 16 de REPSOL para obtener la certificación ISO 50001:2011.
5. Proponer un modelo de línea de base energética para el sistema operacional del Bloque 16 de REPSOL para obtener la certificación ISO 50001:2011.
6. Realizar la evaluación económica de la propuesta.

## **1.7 Hipótesis**

Previo diagnóstico de los sistemas de generación eléctrica y producción de petróleo para la obtención de los modelos de línea base energética en el sistema operacional del Bloque 16 de REPSOL, permitirá cumplir los requisitos estipulados por la Norma ISO 50001:2011.

## **1.8 Conclusiones**

- Se determinó los principales elementos estructurales del diseño de la investigación, permitiendo con ello centrar las líneas primordiales de trabajo para el desarrollo de la tesis.
- El Bloque 16 de REPSOL cuenta con certificaciones ISO 9001, 14001 y 18001, por esta razón se facilitó significativamente la implementación del sistema de gestión energético ISO 50001:2011.

## **Capítulo 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Estado del arte sobre el sistema operacional de extracción, transporte y generación de energía para la producción de petróleo**

##### **2.1.1. Sistema de extracción de petróleo**

###### **La explotación petrolera en la cuenca amazónica del Ecuador<sup>2</sup>**

(Miguel San Sebastián, Anna Karin, 2003) Desde la década de 1970, el petróleo ha sido una de las principales fuentes de ingresos del Ecuador y ha servido como “motor impulsor” de la economía nacional. La mayor parte del petróleo ecuatoriano se extrae en la cuenca amazónica del noreste del país. A lo largo de este proceso se han liberado al medio ambiente miles de millones de galones de desechos sin tratar, gas y petróleo crudo. El análisis del agua de varias corrientes fluviales de la localidad ha demostrado la presencia de altas concentraciones de productos químicos derivados del petróleo en las zonas petrolíferas en explotación. Los estudios epidemiológicos han encontrado un mayor riesgo de sufrir síntomas asociados con el petróleo y abortos espontáneos en las mujeres que viven en las proximidades de los campos petroleros. También se ha encontrado una incidencia excesiva de cáncer. Se necesitan intervenciones locales, nacionales e internacionales para evitar que se empeoren los efectos negativos que ejerce sobre el medio ambiente y la salud. Estas intervenciones deben abarcar un sistema de monitoreo y remediación ambiental, consultas a la comunidad y participación comunitaria, mecanismos para hacer cumplir las leyes que protegen el medio ambiente y la salud de la población, y cambios en las políticas comerciales dirigidos a lograr la sostenibilidad en materia ambiental y la justicia social.

---

<sup>2</sup> Miguel San Sebastián, Anna Karin. (17 de 11 de 2003). La explotación petrolera en la cuenca amazónica de Ecuador: una emergencia para la salud pública. Recuperado el 01 de 01 de 2014, de Revista Panamericana de Salud Pública: [http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1020-49892004000300014](http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49892004000300014)



### **2.1.2. Sistema de transporte de petróleo**

(EP PETROECUADOR, 2013)<sup>3</sup> La Gerencia de Transporte y Almacenamiento es la encargada de realizar el transporte de crudo por el SOTE<sup>4</sup> y también de los derivados por poliductos.

#### **a) Transporte de Crudo SOTE**

El Sistema del Oleoducto Transecuatoriano (SOTE) constituye una de las obras más importantes para el Ecuador. Tiene una capacidad de transporte de 360 000 BPD<sup>5</sup> para crudo de 23,7° API<sup>6</sup> y 390 000 BPD para crudo de 23,7° API utilizando químico reductor de fricción<sup>7</sup>; con una longitud de 497,7 Km; cuenta con una potencia instalada de 101 150 Hp en sus seis estaciones de bombeo: Lago Agrio, Lumbaqui, El Salado, Baeza, Papallacta y Quinindé; cuatro estaciones reductoras de presión: San Juan, Chiriboga, La Palma y Santo Domingo y un Terminal Marítimo en Balao – Esmeraldas. Adicional cuenta con una unidad de bombeo con una potencia instalada de 2 500 Hp para el bombeo por la OTA<sup>8</sup> hacia Tumaco en la costa del pacífico en Colombia.

La longitud del SOTE es de 497,7 Km entre la Estación No. 1 de Lago Agrio y el Área de Tanques del Terminal Marítimo de Balao, desde los tanques hasta la playa son 5 kilómetros más de tuberías de carga aproximadamente y finalmente hay 7 kilómetros más de tuberías.

El SOTE tiene una capacidad de Almacenamiento de 1 500 000 barriles en Lago Agrio y 3 220 000 barriles en el terminal Marítimo Balao.

Durante el año 2013 se transportó por el SOTE un total de 128,9 millones de barriles de crudo equivalentes a transportar promedio diario de 353 349, un 2% menos del margen por contingencias, con 25°API promedio, transportó crudo

---

<sup>3</sup> EP PETROECUADOR. (s.f. de s.f. de 2013). Plan Operativo año 2013 - Producción, Transporte y Almacenamiento; Refinación y Comercialización interna y externa de crudo, gas natural. Recuperado el 02 de 01 de 2014, de EP PETROECUADOR: [http://www4.eppetroecuador.ec/lotaip/pdfs/vigente/POA\\_2013-2016.pdf](http://www4.eppetroecuador.ec/lotaip/pdfs/vigente/POA_2013-2016.pdf)

<sup>4</sup> SOTE.- Sistema del Oleoducto Transecuatoriano

<sup>5</sup> BPD.- Barriles de petróleo por día.

<sup>6</sup> API.- Gravedad API, o grados API, de sus siglas en inglés American Petroleum Institute, es una medida de densidad que, en comparación con el agua, precisa cuán pesado o liviano es el petróleo. Índices superiores a 10 implican que son más livianos que el agua y, por lo tanto, flotarían en ésta. La gravedad API se usa también para comparar densidades de fracciones extraídas del petróleo.

<sup>7</sup> Químico reductor de fricción (Q.F.R).- Es un producto que sirve para mejorar el flujo disminuyendo las pérdidas por fricción en la tubería y permite incrementar el caudal de crudo bombeado con una misma potencia y sin incrementar la presión interna del oleoducto.

<sup>8</sup> OTA. Oleoducto Trasandino de ECOPETROL (Colombia).

proveniente de los bloques operados por PETROAMAZONAS EP y de la Secretaría de Hidrocarburos (Compañías Privadas).

**b) Oleoducto de Crudos Pesados<sup>9</sup>**

(Benítez, 2006) Debido al incremento de la producción de crudo por parte de las compañías privadas fue necesario incrementar el volumen de transporte de crudo, por tal motivo se construyó el Oleoducto de Crudos Pesados por parte de las compañías privadas, en el año 2003 entro a operar.

OCP cuenta con una capacidad operativa de 450 000 BPD (máxima capacidad de diseño es de 520 000 BPD) operó normalmente y transportó la producción que le corresponde como prestación de servicios de las compañías privadas. En el 2013 transportó un promedio de 150.962 BPD de crudo de 19° API aproximadamente.

**2.1.3. Generación de energía para la producción de petróleo**

**a) Motores de combustión interna**

(Jesús María López Lezama, Antonio Padilha Feltrin, Luis Alfonso Gallego Pareja, 2009) A pesar de haber sido inventados hace más de un siglo, no han alcanzado su grado máximo de desarrollo tecnológico, pues todavía se están desarrollando mejoras con respecto a su eficiencia, potencia específica y nivel de emisiones. Además, el uso de nuevos materiales ha posibilitado la reducción del peso, costo y pérdidas por calor.

**b) Sistema de Generación eléctrica para producción de petróleo en el Ecuador**

(PETROAMAZONAS EP, 2014) En EPF<sup>10</sup>, PETROAMAZONAS EP trabaja con la central de generación eléctrica del proyecto “Optimización de Generación Eléctrica y Eficiencia Energética (OGE&EE)”, que permite aprovechar el gas asociado a la producción petrolera y convertirlo en energía eléctrica, evitando así la importación de diésel para generación eléctrica y generando de esta manera ingentes ahorros al país; de igual forma, a través de este proyecto se disminuye la huella ambiental, ya que se evita la emisión anual de 139 mil toneladas de CO2 al medio ambiente. Asimismo, toda el agua de formación que se extrae, como parte

---

<sup>9</sup> Benítez, G. F. (24 de 08 de 2006). El OCP, el SOTE y el interés nacional. Recuperado el 02 de 01 de 2014, de AMÉRICA LATINA en movimiento: <http://alainet.org/active/13181>

<sup>10</sup> EPF: Facilidades de producción del Edén, Bloque 12.

del fluido trifásico, es reinyectada en zonas ubicadas a más de 7 mil pies de profundidad, sin afectar acuíferos naturales ni formaciones de agua dulce.

## 2.2. Descripción del sistema operacional del Bloque 16 de REPSOL<sup>11</sup>

### 2.2.1. Sistema eléctrico del Bloque 16

(Departamento Eléctrico Bloque 16 REPSOL, 2012) El sistema eléctrico de REPSOL Ecuador en el Bloque 16, consta de generación, transmisión y distribución eléctrica.

#### a) Generación eléctrica del Bloque 16

La generación en REPSOL Ecuador está conformada por seis plantas termoeléctricas, con una potencia instalada de 153 MW y potencia efectiva de 118 MW propicio para alimentar un sistema con 92 MW de potencia diaria promedio, en la figura 2.1 se describe el sistema de generación del Bloque 16:

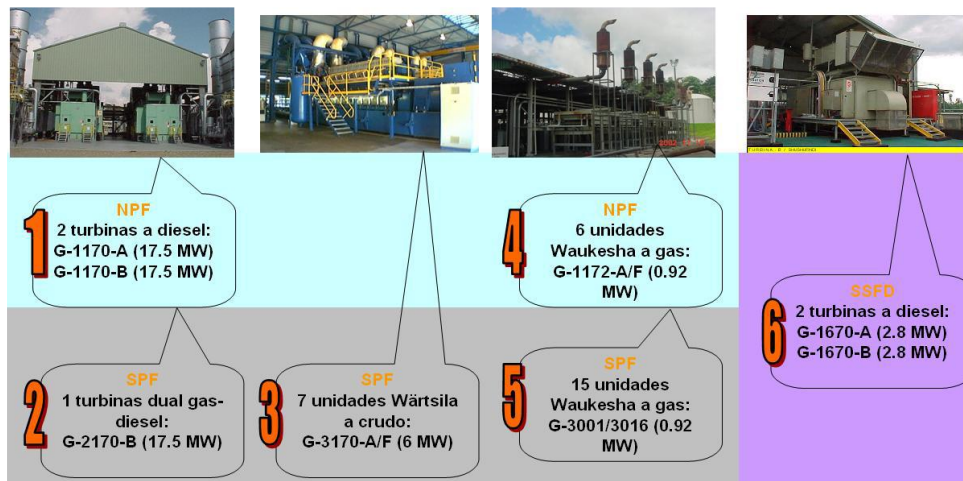


Figura 2.1 Generación eléctrica del Bloque 16

Fuente: (Departamento Eléctrico Bloque 16 REPSOL, 2012)

En NPF<sup>12</sup> se tiene una barra principal de generación a nivel de 13 800 voltios y una de 4 160 voltios. En SPF<sup>13</sup> dos barras principales a nivel de 13 800 voltios y dos a nivel de 4 160 voltios, ésta última utilizada para generación con motores marca Waukesha.

<sup>11</sup> Departamento Eléctrico Bloque 16 REPSOL. (s.f. de s.f. de 2012). Departamento Eléctrico Bloque 16 REPSOL. Bloque 16, Coca, Francisco de Orellana, Ecuador. Recuperado el 10 de 10 de 2013

<sup>12</sup> NPF: Facilidades de producción del norte

<sup>13</sup> SPF: Facilidades de producción del sur

Las barras de generación se encuentran constituidas por interruptores de potencia, equipos esencialmente formados por secciones y cubículos que consta de barras horizontales y verticales y que posee disyuntores de potencia con sus respectivos sistemas de protección y alarma.

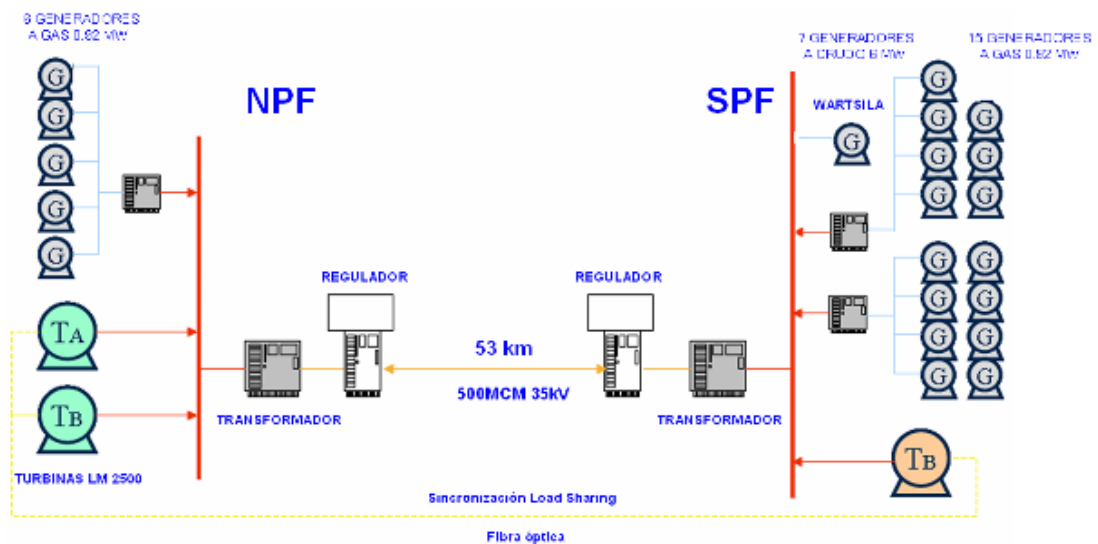
El control de las fluctuaciones da carga debido al continuo arranque y salida de motores tanto en planta de procesamiento como en las locaciones es soportado por las dos turbinas ubicadas en NPF (G-1170-A y G-1170-B) que trabajan en modo compartición de carga, es decir con compartición de carga.

El resto de unidades de generación tanto en SPF como en NPF trabajan en modo carga base.

### b) Transmisión eléctrica

Después de la barra de generación existen transformadores elevadores de 13 800 voltios a 34 500 voltios instalados para la transmisión de la energía hacia las diferentes locaciones.

El sistema eléctrico del Bloque 16 es básicamente radial con una interconexión eléctrica entre las locaciones de NPF y SPF de 53 kilómetros aproximadamente con un nivel de voltaje de 34 500 voltios y conductor 500 MCM, en la figura 2.2 se describe lo detallado:



**Figura 2.2 Interconexión de transmisión eléctrica NPF y SPF**

Fuente: (Departamento Eléctrico Bloque 16 REPSOL, 2012)

En los extremos de la interconexión se tienen interruptores de potencia a nivel de 34 500 voltios, los mismos que poseen alta tecnología en protección contra sobrecorrientes y cortocircuitos, lo que incrementa la seguridad del personal responsable de la maniobra del sistema de transmisión.

En SPF, al tener una demanda mayor que en NPF, se le adiciona al extremo de la interconexión un banco de capacitores, con el fin de mejorar el factor de potencia que actualmente se encuentra en 0,98 a nivel de generación y 0,95 a nivel de las locaciones.

Para la mejora de la calidad de servicio entregado y debido a la distancia existente entre las locaciones NPF y SPF, la interconexión posee en ambos extremos reguladores encargados de mejorar el perfil de voltaje y reactores que son utilizados para compensar el efecto capacitivo de la línea en caso de ser necesario.

### **c) Distribución eléctrica**

Los alimentadores que transmiten la energía a las diferentes locaciones mediante transformadores reductores llegan hacia las locaciones a 2 400 voltios.

En cada locación existen MCCs<sup>14</sup> que son estructuras formadas por secciones y varios cubículos que constan de arrancadores, breakers (no tiene disyuntores), con protección de sobrecorriente.

Para el arranque de motores tanto en planta como en las locaciones, los MCCs poseen tres tipos de arrancadores: directos para motores pequeños, arrancadores con autotransformador y arrancadores suaves. Estos últimos utilizados en la mayoría de motores principalmente de 1 500 y 3 000 HP (1 119 y 2 238 kW), permitiendo así que las fluctuaciones producidas por el arranque de los mismos no afecten la estabilidad del sistema.

Estos arrancadores suaves permiten escoger una rampa de corriente controlada que se desarrolle en un tiempo determinado, ingresando el motor al sistema como su nombre lo indica de la manera más suave posible.

De cada arrancador de los MCCs salen los alimentadores hacia los pozos.

Para mejorar las condiciones de calidad de energía, las locaciones poseen bancos de capacitores que mejoran las condiciones de voltaje y el factor de potencia.

---

<sup>14</sup> MCC.- Centros de control de motores

Para evitar que el sistema de producción salga debido a una falta de energía súbita se ha instalado el respaldo de UPSs<sup>15</sup> y cargadores de baterías tanto en la planta como en las locaciones, los mismos son encargados de alimentar a los PLC's, relés de protección, VFIs<sup>16</sup> y sistemas de comunicaciones.

Para mantenimiento y protección de MCCs, PCRs e interruptores de potencia (switchgears) cada construcción cuenta con sistemas de aire acondicionado y sistemas contraincendios altamente confiables, garantizando la protección del personal y las instalaciones en caso de emergencia.

### **2.2.2. Sistema de producción de petróleo del Bloque 16**

#### **a) Planta de producción de petróleo del SPF**

La planta de tratamiento de crudo SPF cuenta con un área de 0,285 Km<sup>2</sup>, se encuentra ubicada en el kilómetro 108 desde Pompeya Norte y 62 kilómetros desde NPF.

La planta SPF se divide en los siguientes sistemas: tratamiento y transferencia de crudo, agua de formación, gas blanketing<sup>17</sup> y recovery gas<sup>18</sup>, drenajes, diésel, aire de instrumentos y sistema de agua potable.

#### **b) Planta de producción de petróleo del NPF**

La planta de tratamiento de crudo NPF cuenta con un área de 0,1984 Km<sup>2</sup>, se encuentra ubicada en el kilómetro 46 desde Pompeya Norte.

En la planta NPF se encuentra la planta Topping<sup>19</sup>, produce 1 500 barriles de diésel promedio por día, este diésel es consumido por las plantas de generación eléctrica y los servicios generales de transporte y otros.

La planta NPF cuenta con los mismos sistemas descritos en la planta SPF.

#### **c) Estación Shushufindi (SSFD)**

---

<sup>15</sup> UPS: Sistema de protección ininterrumpido eléctrico

<sup>16</sup> VFI.- Interruptor de fuerza en vacío (seccionador de media tensión).

<sup>17</sup> Sistema de gas blanketing: tiene el objetivo mantener una presión positiva dentro de los tanques de crudo, agua y slops; y, evitar el ingreso de oxígeno a los mismos.

<sup>18</sup> Recovery gas: gas entregado.

<sup>19</sup> Planta Topping.- Planta de producción de diésel

La estación de transferencia Shushufindi cuenta con un área de 0.075 Km<sup>2</sup>, se encuentra ubicado en el kilómetro 35 desde Pompeya norte y 67 kilómetros desde NPF.

Con la ayuda de bombas de transferencia de crudo, se logra transferir el crudo desde la estación Shushufindi hasta la estación Lago Agrio.

#### **d) Estación Lago Agrio**

La estación de Lago Agrio cuenta con un área de 1,38 hectáreas, conformada por una estación junior ubicada en las instalaciones del SOTE, un área de lanzador ubicada en el pozo 27 en las instalaciones le EP PETROECUADOR y un área de receptor ubicada en las instalaciones del OCP.

### **2.3. Teoría relacionada con la eficiencia energética en el sistema operacional del Bloque 16 de REPSOL**

#### **2.3.1. El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER)**

(Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador, 2013) El MEER manifiesta “La Eficiencia Energética es realizar un aprovechamiento óptimo de la energía y ello no implica renunciar a la calidad de vida sino obtener los mismos bienes, servicios y realizar las mismas actividades sin desperdiciarla”.

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) ha desarrollado políticas y proyectos que promueven el uso racional de la energía, como es el desarrollo de estándares o normativa que promuevan el uso de aparatos eficientes, además, de estrategias para mejorar la eficiencia energética en los diferentes sectores del país, como son el sector residencial, público e industrial.

#### **2.3.2. Compromiso energético de REPSOL en el Bloque 16**

Uno de los más destacables proyectos de REPSOL, que evidencia su compromiso social y con los recursos energéticos, es el relacionado con el aprovechamiento del gas en generación eléctrica, el cual se enmarca dentro de los mecanismos de desarrollo limpio de acuerdo a las regulaciones del protocolo de Kioto<sup>20</sup>, cuyo

---

<sup>20</sup> Protocolo de Kioto.- Es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de

objetivo principal es controlar los efectos nocivos de la acción humana sobre el ambiente, lo que hace consecuente con su política de gestión ambiental sobre la responsabilidad por la preservación del ambiente y los recursos naturales.

REPSOL establece objetivos y metas de mejora de la eficiencia energética y de reducción de las correspondientes emisiones de gases de efecto invernadero. Para su consecución, la dirección asegura la disponibilidad de la información y los recursos necesarios.

Mejora de manera continua el uso de los recursos energéticos en sus instalaciones y actividades durante todo el ciclo de vida de las mismas, optimizando la tecnología y diseño de los procesos así como la operación de las instalaciones.

Asegura el cumplimiento de los requisitos legales vigentes, promoviendo además la adaptación de su operativa e instalaciones a los cambios que se pudieran producir en el marco regulatorio vigente, y establecerá estándares comunes de gestión en materia de eficiencia energética en todas las áreas y países en que opera.

Con el fin de promover una mayor sensibilización de las partes interesadas, REPSOL proveerá a las mismas de información fiable y transparente sobre su consumo de energía, sus correspondientes emisiones de gases de efecto invernadero y las actuaciones de mejora acometidas.

Uno de los proyectos realizados por REPSOL en el Bloque 16 para reducir las emisiones atmosféricas fue aprovechar el gas que era enviado a la tea y utilizarlo para generación eléctrica en una turbina que genera 17,5 MW (LM2500) que antes utilizaba diésel. Para ello en la turbina se procedió a convertir a sistema dual (gas-diésel), la decisión se orientó a eliminar el consumo de diésel y funcionar con gas en un 100%, quedando la opción de operar con diésel solo en casos de emergencia. Con una inversión aproximada de 2 millones de dólares se logró captar 3800000,00 de pies cúbicos de gas, reduciendo emisiones de CO<sub>2</sub> en el orden las 70 mil toneladas al año.

---

carbono (CO<sub>2</sub>), gas metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)



### 2.3.3. Características generales de normas asociadas al programa de certificación y particularidades de la ISO 50001

#### Normas asociadas al programa de certificación

REPSOL Ecuador desde la alta gerencia ha promovido dentro del grupo de ingenieros trabajar en la alta eficiencia de los procesos es como en el año 2013 se inicia la implementación Norma ISO 50001 que va encaminado al mejoramiento en el consumo de la energía eléctrica, es posible afirmar que la planificación que se ha planteado será un éxito, los ahorros en el consumo de energía se van a ver reflejados en el rendimiento frente a la producción y una recuperación de las inversiones a corto plazo.

**Tabla 2.1 Normas asociadas al programa de certificación**

Correspondencia de las Normas ISO 9001, ISO 14001, ISO 22000 con la ISO 50001				
ISO 50001		ISO 9001	ISO 14001	ISO 22000
4.4	Planificación	Planificación	Planificación	Planificación
4.4.1	Generalidades	Objetivos de calidad	Planificación	Inocuidad de los alimentos
4.4.2	Requisitos legales y otros requisitos	Determinación de los requisitos relacionados con el producto	Requisitos legales y otros requisitos	Características del producto
4.4.3	Revisión energética	Objetivo de calidad	Aspectos ambientales	Planificación y realización de productos inocuos
4.4.4	Línea base			Análisis de peligros
4.4.5	Indicadores de desempeño energético			Indicación de peligros y determinación de niveles aceptables
4.4.6	Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción para la gestión de la energía	Objetivos de la calidad, planificación de la realización del producto	Objetivos, metas y programas	Programa de prerrequisitos (PPR)

El sistema de gestión energético se fundamenta en el marco general del ciclo PHVA, es decir planear, hacer, verificar y actuar.

Cumplir con los objetivos del ciclo de oportunidad representa realizar una gestión en el uso y consumo de energía. Para el caso de un sistema de gestión energético es muy importante organizar las ideas y gestiones para proponer ante la alta dirección un plan que permita realizar estudios encaminados a identificar los potenciales de ahorro, tales estudios pueden ser del uso de la energía, cambios de tecnología o variabilidad operacional.

La principal tarea en este proceso es diseñar indicadores que logren establecer metas para el control del consumo de cada energético utilizado en el proceso, establecer mecanismos que permitan hacer una verificación de las medidas implementadas para lograr la reducción de los consumos y por último, identificar si los mecanismos propuestos presentan el resultado esperado o si es necesario realizar ajustes o cambios definitivos para obtenerlos.

En ese orden de ideas, REPSOL Ecuador, comprometido con la calidad en sus procesos, ha implementado su propio ciclo de oportunidad, que le brinda la posibilidad de realizar un mejoramiento continuo de sus procesos, de la labor de sus empleados y de su impacto medio ambiental.

Enfocados directamente con cada objetivo se obtiene el desarrollo adquirido a través de las certificaciones para efectos de análisis, se toma este proyecto en la etapa de planificación para lograr implementar con mayor facilidad.

#### **2.4. Particularidades de la Norma ISO 50001:2011**

Con la finalidad de dar soporte a la política medioambiental de la Unión Europea, se aprobó en primera instancia la Norma EN16001 - Sistema de Gestión de Energía, que garantizaba en una organización su compromiso respecto a la eficiencia energética. Desde agosto de 2011, esta Norma pasó a ser la ISO 50001, tomando, por tanto, un ámbito de acción mundial.

El objetivo de la Norma ISO 50001 es posibilitar a las organizaciones la implantación de sistemas y procesos necesarios para mejorar el rendimiento energético de las instalaciones, con la clara intención de reducir las emisiones de efecto invernadero y los costos energéticos de explotación.

### 2.4.1 Línea base energética<sup>21</sup>

La Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011 (AENOR), referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético.

La línea base es la primera medición de todos los indicadores contemplados en el diseño de un proyecto de desarrollo social y por ende, permite conocer el valor de los indicadores al momento de iniciarse las acciones planificadas, es decir, establece el “punto de partida” del proyecto o intervención.

La línea base debe realizarse cuando se inicia el proyecto; de lo contrario, no se contará con datos que permitan establecer comparaciones posteriores e indagar por los cambios ocurridos conforme el proyecto se vaya implementando.

El resultado de la línea base se expresa en un informe que describe la situación del problema identificado antes de la intervención del proyecto y la información elaborada se conoce como año base, punto de referencia o año cero.

La línea base permite:

- Establecer la situación inicial del escenario en que se va a implementar un proyecto.
- Servir como un punto de comparación para que en futuras evaluaciones se pueda determinar qué tanto se ha logrado alcanzar los objetivos.
- Corroborar los datos obtenidos en el diagnóstico y los estudios de factibilidad previos que dieron origen a la formulación del proyecto.
- Caracterizar en forma más precisa a la población objetivo del proyecto o intervención, y con ello incluso se podría reformular los objetivos con miras a ganar mayor pertinencia<sup>22</sup>, eficacia<sup>23</sup>, eficiencia<sup>24</sup> y sostenibilidad potencial.
- Realizar una planificación bien concebida para la ejecución del proyecto.

Un período adecuado para los datos significa que la organización tiene en cuenta los requisitos reglamentarios o las variables que afectan al uso y al consumo de la energía.

---

<sup>21</sup> AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación. (2011). AENOR. Obtenido de [www.aenor.es](http://www.aenor.es)

<sup>22</sup> Pertinencia.- Oportunidad, adecuación y conveniencia de una cosa

<sup>23</sup> Eficacia.- Es lograr el objetivo

<sup>24</sup> Eficiencia.- Es lograr el objetivo en el menor tiempo y con el mínimo de recursos

La línea base energética se mantiene y registra como un medio para que la organización determine el período de mantenimiento de los registros. Los ajustes en la línea base energética también se consideran como mantenimiento y los requisitos están definidos en la Norma 50001:2011.

NOTA 1: Una línea base energética refleja un período especificado.

NOTA 2: Una línea base energética puede normalizarse con variables que afecten al uso y al consumo de la energía, por ejemplo, nivel de producción, grados-día (temperatura exterior).

NOTA 3: La línea base energética también se utiliza para calcular los ahorros energéticos, como una referencia antes y después de implementar las acciones de mejora del desempeño energético.

Para la línea base energética inicialmente se determinará la relación entre el consumo energético por unidad de producción a partir de los datos totales de la planta del Bloque 16, con el fin de identificar potenciales de ahorro energético genéricos de la empresa.

#### **2.4.2 Empresas de la Corporación REPSOL en obtener la certificación ISO 50001**

(REPSOL ECUADOR, 2012) Entre las primeras empresas en obtener la certificación ISO 50001 y que pertenecen a la corporación REPSOL son:

##### **a) La refinería de REPSOL La Coruña<sup>25</sup>**

La Refinería de Repsol en La Coruña ve reconocida nuevamente su labor en Gestión Energética al obtener el certificado ISO 50001, convirtiéndose así en la primera del mundo en alcanzar esta certificación.

El Sistema de Gestión Energética tiene como objetivo establecer los sistemas y procesos para mejorar la eficiencia energética, permitiendo disminuir el consumo energético, reduciendo costes y emisiones de gases de efecto invernadero a través de una gestión sistemática. Por esta razón, es fundamental disponer de herramientas para identificar, analizar e implementar oportunidades de ahorro, así

---

<sup>25</sup> REPSOL. (13 de 09 de 2011). REPSOL. Recuperado el 1 de 12 de 2014, de [www.repsol.com: http://www.repsol.com/es\\_es/corporacion/prensa/notas-de-prensa/ultimas-notas/13092011-refineria-a-coruna-gestion-energetica.aspx](http://www.repsol.com/es_es/corporacion/prensa/notas-de-prensa/ultimas-notas/13092011-refineria-a-coruna-gestion-energetica.aspx)

como monitorizar de forma eficiente tanto los consumos energéticos como los procesos o actividades relacionados.

La rapidez en la adaptación a la nueva norma fue posible gracias a la madurez de la forma de trabajo en Gestión Energética que se ha llevado a cabo en la Refinería coruñesa desde hace muchos años.

Este proceder integra la Gestión Energética como parte intrínseca del trabajo de la Refinería y a partir de esta certificación se continuarán estableciendo las acciones adecuadas para seguir avanzando; ya que representa una oportunidad más para continuar enriqueciendo, innovando y mejorando la forma de trabajar; siendo además un reflejo del trabajo y profesionalidad de todo el personal del Complejo Industrial.

#### **b) La refinería de REPSOL Puertollano<sup>26</sup>**

REPSOL obtuvo la certificación ISO 50001 del Sistema de Gestión Energética del Complejo Industrial de Puertollano, cumpliendo así el objetivo propuesto por la Compañía dentro del capítulo de ahorro y eficiencia energética. El Sistema de Gestión Energética permite disminuir el consumo energético, gracias a la incorporación de todas las actividades relacionadas con la gestión energética en un ciclo de mejora continua. Para ello es fundamental disponer de herramientas para identificar, analizar e implementar oportunidades de ahorro, así como monitorizar de forma eficiente tanto los consumos energéticos como los procesos o actividades relacionados. El despliegue del sistema hasta su mayor grado de detalle únicamente es posible gracias al compromiso y a la responsabilidad de todas las personas que participan en las actividades de la refinería.

La certificación ISO 50001 que ha recibido el Sistema de Gestión Energética del área de Refino del Complejo Industrial está avalada por Lloyd's Register Quality (LRQA), y es la norma aprobada a nivel europeo como estándar de gestión energética. Tiene el objetivo de apoyar en el establecimiento de los sistemas y procesos para mejorar la eficiencia energética, reduciendo costos y emisiones de gases de efecto invernadero a través de una gestión sistemática. En el área Química se está siguiendo el mismo modelo de implantación del Sistema de

---

<sup>26</sup> REPSOL. (22 de 01 de 2013). REPSOL. Recuperado el 1 de 12 de 2014, [www.repsol.com: http://www.repsol.com/es\\_es/corporacion/complejos/puertollano/sala-de-prensa/notas-de-prensa/certificacion-sistema-gestion-energetica-refineria-puertollano.aspx](http://www.repsol.com/es_es/corporacion/complejos/puertollano/sala-de-prensa/notas-de-prensa/certificacion-sistema-gestion-energetica-refineria-puertollano.aspx)

Gestión Energética con el objetivo de conseguir la certificación a lo largo de este año.

La implantación de este Sistema de Gestión Energética mejorará la posición competitiva del Complejo Industrial de Repsol Puertollano. Alrededor del 60% de los costes operativos del Complejo corresponden al consumo de energía, por lo que seguir avanzando en la optimización energética mejora la competitividad del Complejo.

**Reducción de emisiones CO2.-** Este sistema se enmarca en el compromiso de REPSOL de utilizar eficientemente la energía en sus instalaciones con el propósito de preservar los recursos naturales, reducir las emisiones atmosféricas y contribuir a mitigar los efectos del cambio climático. La aplicación de criterios de eficiencia energética es un reto constante en las instalaciones industriales de la Compañía. Este compromiso se concretó en objetivos estratégicos en las áreas industriales. En el caso de Refino la reducción en un 15% de las emisiones de CO2 en 2016, respecto a las de 2010. En el Complejo Industrial de Puertollano la reducción acumulada anual en 2012 alcanza el 11%, aumentando el porcentaje de reducción a un 15% en los últimos meses del año, en los que se alcanzó el objetivo fijado para 2016.

En el Complejo Industrial de Puertollano la aplicación de criterios de eficiencia energética a modificaciones y mejoras de proceso es un reto constante. En los últimos años se han desarrollado numerosas acciones en este sentido que han tenido como resultado un incremento en eficiencia energética y beneficios medioambientales, con una importante reducción de emisiones.

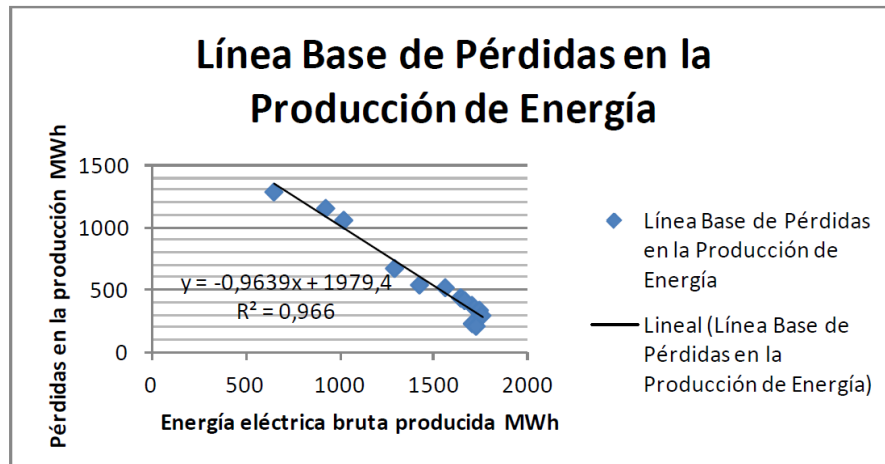
En cuanto a los proyectos que han contribuido a la reducción de emisiones de CO2 destaca la inversión de seis millones de euros para la incorporación de gas natural a la red de fuel gas del Complejo para generalizar su uso como combustible en unidades de proceso y de servicios. Esta inversión se puso en servicio en septiembre, con un adelanto importante sobre la fecha prevista inicialmente gracias al esfuerzo de toda la organización implicada, lo que ha contribuido de una manera muy importante al cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones de CO2.

### 2.4.3 Modelos de línea base en otras empresas

#### A. Factibilidad de la Norma ISO 50001 en la Central Hidroeléctrica “Carlos Mora Carrión”<sup>27</sup>

(Cuenca Mendieta, 2013) Se detallan los modelos de línea base siguiente:

##### a) Línea base de pérdidas en la producción de energía



**Figura 2.3 Correlación de Pérdidas de Producción vs Energía Bruta Producida**

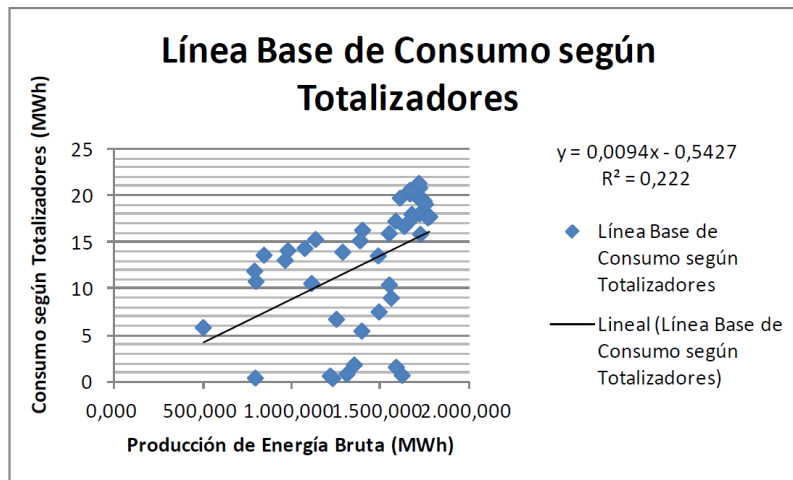
Fuente: Ing. Stalin Eduardo Cuenca Mendieta “Factibilidad de la Norma ISO 50001 en la Central Hidroeléctrica “Carlos Mora Carrión””, página 89

En la figura 2.3 se establece un primer indicador de desempeño energético como Pérdidas de la Línea de Producción/ Energía Bruta Producida basada en una regresión lineal simple, se puede notar que la pérdida base de las instalaciones de la Central Hidroeléctrica es de 1979 MWh, que se podría mejorar si se aplican medidas de gestión de energía complementadas con un cambio tecnológico especialmente con equipos de mayor rendimiento como las turbinas y generadores de la Central Hidroeléctrica.

##### b) Línea base de consumo según totalizadores

<sup>27</sup> Ing. Stalin Eduardo Cuenca Mendieta, I. S. (s/n de s/n de 2013). Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado el 01 de 03 de 2015,

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4636/1/TESIS.%20pdf.pdf>

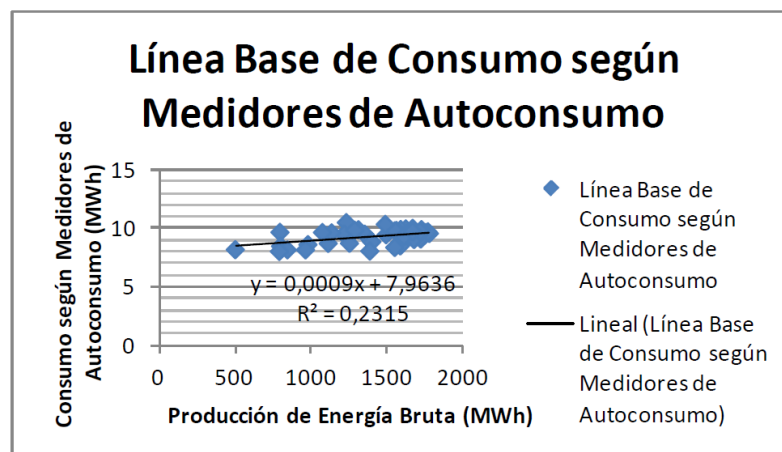


**Figura 2.4 Correlación de consumo según totalizadores Vs Energía bruta producida**

Fuente: Ing. Stalin Eduardo Cuenca Mendieta “Factibilidad de la Norma ISO 50001 en la Central Hidroeléctrica “Carlos Mora Carrión””, página 89

En la figura 2.4 se establece las líneas base de consumo basada en los consumos según totalizadores y luego según medidores de autoconsumo, teniendo como variable significativa la gestión del consumo de la central, tanques de presión y antenas; el segundo indicador de desempeño energético es por tanto el consumo energético (central, tanques de presión y antenas)/ Energía Bruta producida en la Central.

**c) Línea Base de Consumo según Medidores de Autoconsumo**



**Figura 2.5 Correlación de consumo según medidores Vs Energía bruta producida**

Fuente: Ing. Stalin Eduardo Cuenca Mendieta “Factibilidad de la Norma ISO 50001 en la Central Hidroeléctrica “Carlos Mora Carrión””, página 90

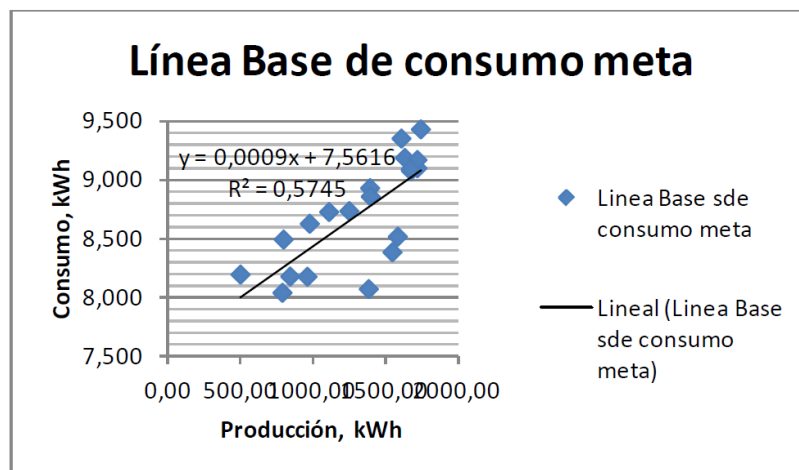


Comparando la figura 2.4 y 2.5, las regresiones lineales no son iguales ni aproximadas, con correlación de variables bajas que refleja problemas de medición, es decir, estos datos no son confiables para el análisis. En estos datos de consumo según totalizadores, el consumo base es negativo y por tanto el análisis es inconsistente. Si se considera en análisis según medidores de autoconsumo la línea base indica un consumo base de 7.96 MWh por mes.

El consumo base es el consumo de energía no asociada a la producción como iluminación de la planta e instalaciones, equipos de oficina, ventilación, calefacción, energía para servicios de mantenimiento, trabajo en vacío de equipos eléctricos y térmicos, pérdidas eléctricas por potencia reactiva, etc.

Para determinar el potencial de mejora en el desempeño energético por gestión energética en los consumos, se parte de los datos de energía bruta producida y total de consumo según totalizadores.

**d) Línea Base de consumo meta**



**Figura 2.6 Correlación de consumo según medidores Vs. Energía bruta producida**

Fuente: Ing. Stalin Eduardo Cuenca Mendieta “Factibilidad de la Norma ISO 50001 en la Central Hidroeléctrica “Carlos Mora Carrión””, página 90

De la figura 2.6 se concluye que la correlación de variables mejora pero los datos no son confiables para el análisis y que el consumo base disminuye a 7,56 MWh y por tanto, los consumos que se pueden reducir sin cambios tecnológicos solamente con gestión energética son 402 kWh/mes (o \$ 31,36/mes).

## B. Planificación energética en el área de molienda del Ingenio Providencia S.A. de acuerdo a los requerimientos de la norma ISO 50001

(Rodríguez Ramos, 2013) Se detallan los modelos de línea base siguiente:

### Línea de base energética total

Inicialmente se determinará la relación entre el consumo por unidad de producción a partir de los datos totales de la planta del Ingenio Providencia, con el fin de identificar potenciales de ahorro energético genéricos de la empresa.

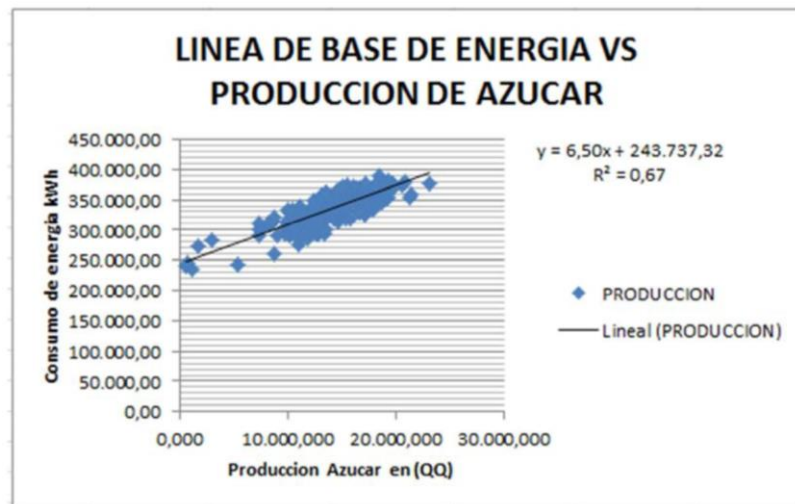
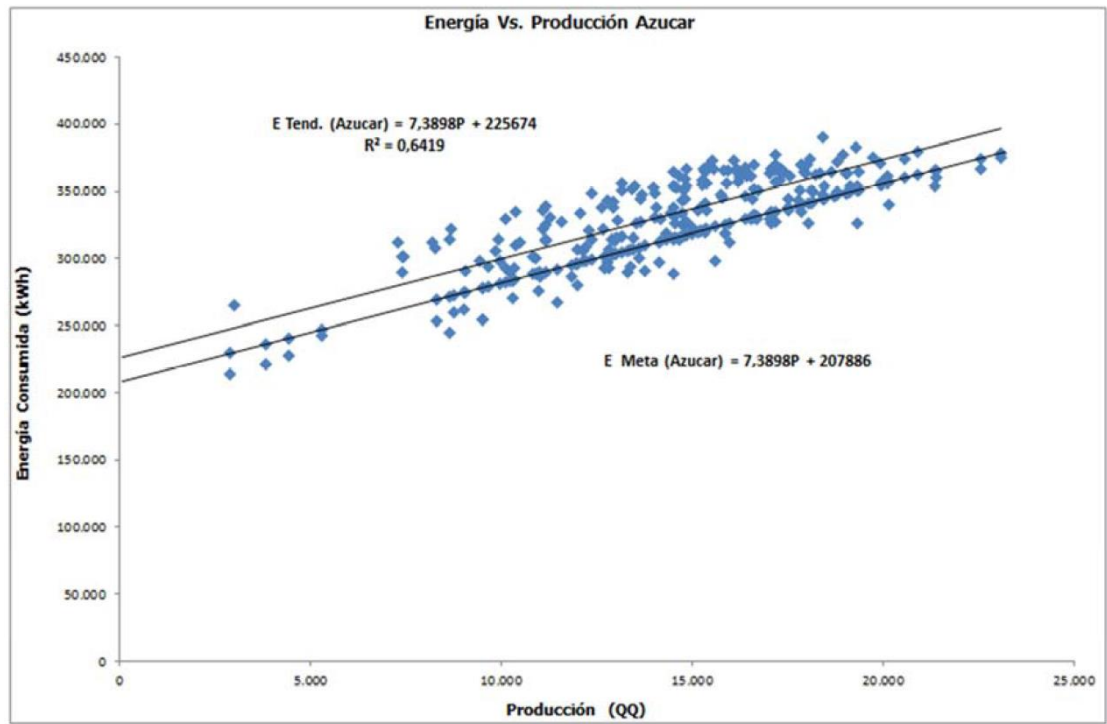


Figura 2.7 Línea de base energética total

Fuente: Manuel Hernando Rodríguez Ramos, Universidad Autónoma de Occidente “Planificación energética en el área de molienda del Ingenio Providencia S.A. de acuerdo a los requerimientos de la norma ISO 50001”, página 64

En la figura 2.7 se muestra el consumo de energía en kWh en función de la producción de azúcar en toneladas en un diagrama de dispersión. Es aplicada una regresión lineal simple que identifique la tendencia del consumo de energía, en la que se muestra que para cero producción hay un consumo registrado de 243 737 kWh/día y este crece en línea recta a razón de 6,50 kWh por cada tonelada de caña, con una correlación de los datos dispersos de 0,67, que es relativamente fuerte. Esta correlación pudo ser mejor pero existen procesos con reproceso o materia prima desviada que generan amplias variaciones en los consumos asociados; esta correlación fue previamente mejorada a partir de la inclusión de cargas que no se tuvieron en cuenta como el área de secado de azúcar y auxiliares

de centrifugas áreas medidas con analizadores, la aplicación de una banda amplia para el filtrado de los datos.



**Figura 2.8 Línea meta del proceso total**

Fuente: Manuel Hernando Rodriguez Ramos, Universidad Autónoma de Occidente “Planificación energética en el área de molienda del Ingenio Providencia S.A. de acuerdo a los requerimientos de la norma ISO 50001”, página 65

En la figura 2.8 se muestra la línea base del proceso energético productivo junto con la línea meta productiva considerada como tendencia de mejora del consumo del proceso productivo en función de las toneladas procesadas solo por variabilidad operacional y sin ningún tipo de modificación tecnológica.

Para estimar el ahorro se toman los dos valores de  $E_0$ , tanto de la línea base como de la línea meta, es decir,  $(225674 - 207886) \text{ kWh} = 17788 \text{ kWh}$ .

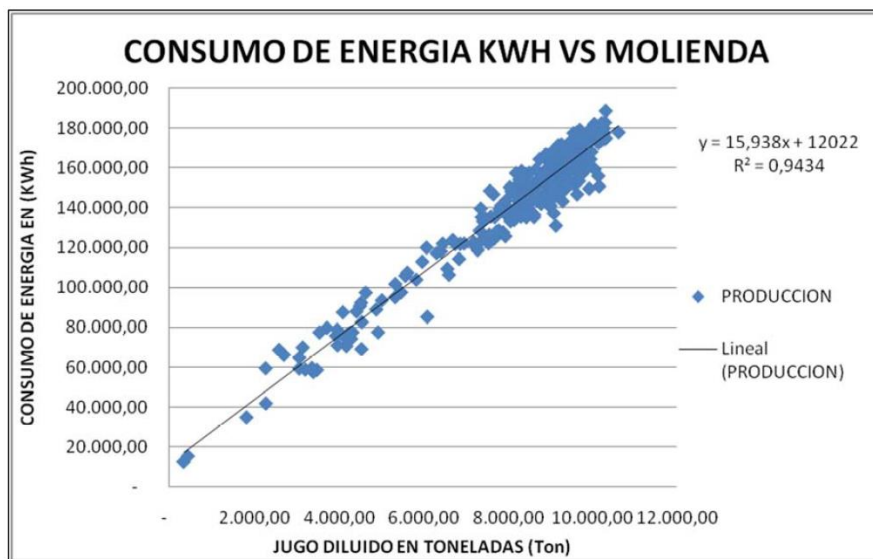
La correlación es la misma porque simplemente se está tomando la línea meta con los puntos que se encuentran por debajo de la línea de base real.

Línea base energética del proceso de Molienda. Para el análisis del proceso de molienda se toma el material resultante del mismo en las etapas de patios de caña, picado, desfibrado y extracción. El resultante es el jugo diluido, materia prima que

finalmente sale al proceso de elaboración de azúcar. La Figura 31 y la Figura 32 ilustran el proceso con los detalles del mismo; el sobrante de este proceso va una parte para la combustión en la caldera y el resto se comercializa con las papeleras. El Ingenio Providencia para este proceso solo utiliza como energético electricidad y agua.

Todo su proceso está en línea y todo el equipo o tandem de molinos debe estar en operación para garantizar la mejor extracción del jugo. Este proceso tiene como factores determinantes la disponibilidad de la caña, el cambio de material de molienda, cañas con mucha fibra, pérdidas indeterminadas por inversión de la sacarosa y por microorganismos.

Se presenta en la figura 2.9 el diagrama de dispersión correspondiente a los consumos energéticos en función de la producción del proceso de jugo diluido.

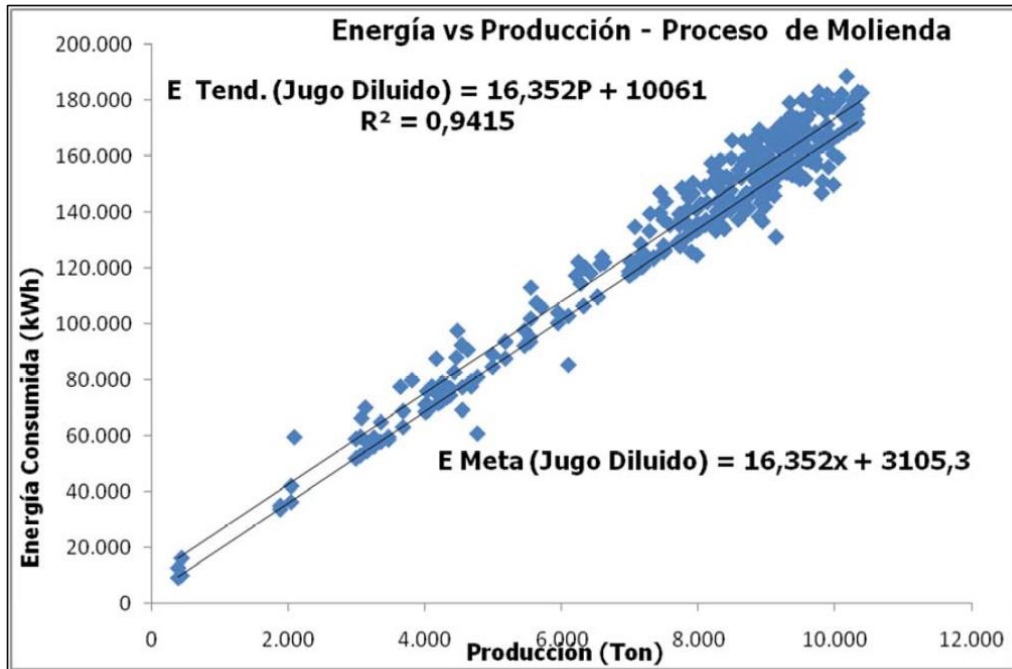


**Figura 2.9 Línea de base energética del proceso de molienda**

Fuente: Manuel Hernando Rodríguez Ramos, Universidad Autónoma de Occidente “Planificación energética en el área de molienda del Ingenio Providencia S.A. de acuerdo a los requerimientos de la norma ISO 50001”, página 67

La línea de base energética de la figura 2.9 muestra el consumo de energía en kWh en función de la producción de azúcar en toneladas en el periodo base del año 2012. La tendencia de los datos dispersos es calculada a partir de una regresión lineal simple, para obtener Tendencia de energía = mP+Eo, en la que se

aprecia que para un nivel de cero (0) producción existe un consumo de 12 022 kWh/día, con un incremento a razón de 15,938 kWh por cada tonelada de caña y con una correlación de 0,94. El adecuado nivel de correlación de la línea de base puede entenderse como un proceso sin demasiadas anomalías de consumo energético, por tanto, con un adecuado control de los consumos por tonelada procesada.



**Figura 2.10 Línea meta del proceso de Molienda**

Fuente: Manuel Hernando Rodriguez Ramos, Universidad Autónoma de Occidente “Planificación energética en el área de molienda del Ingenio Providencia S.A. de acuerdo a los requerimientos de la norma ISO 50001”, página 68

En la figura 2.10 se muestra la línea base del proceso energético productivo junto con la línea meta productiva considerada como tendencia de mejora del consumo del proceso productivo en función de las toneladas procesadas solo por variabilidad operacional y sin ningún tipo de modificación tecnológica.

Para estimar el ahorro se toman los dos valores de E0, tanto de la línea base como de la línea meta, es decir,  $(10061 - 3105.3) \text{ kWh} = 6955.7 \text{ kWh}$ .

La correlación es la misma porque simplemente se está tomando la línea meta con los puntos que se encuentran por debajo de la línea de base real.

## **2.5 Fundamento legal**

### **2.5.1 Constitución de la República del Ecuador**

(CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, 2008) Art. 313, establece que el Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. Los sectores estratégicos, de decisión y control exclusivo del estado, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social. Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico, el agua, y los demás que determine la ley.

(CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, 2008) Art. 413, se establece que el Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

(CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, 2008) Art. 414, el Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo. Normativa ecuatoriana NEC 2011 - Cap. 13 - Eficiencia energética en la construcción en Ecuador, decreto ejecutivo N° 705 del 06 de abril de 2011 “13.2.3 PROPÓSITO La presente Norma ha sido elaborada para fomentar el diseño y construcción de edificaciones bajo puntos de vista de sostenibilidad, eficiencia y buen manejo de los recursos en el Ecuador, disminuyendo de esta manera el consumo de combustibles fósiles y recursos no renovables y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas”

## 2.6 Definición de términos básicos<sup>28</sup>

Para un mejor entendimiento de la investigación es necesario definir algunos términos y palabras claves que permitirán al lector comprender la necesidad de investigación, el estudio realizado y la prospectiva que se espera alcanzar en aras de una mejor calidad de vida del sector en estudio.

**Consumo de energía:** cantidad de energía utilizada.

**Consumo específico:** es la cantidad de energía kWh, consumida por Bls producidos, procesados o inyectados, por ejemplo kWh/Bl de crudo transportado, kWh/Bl de agua inyectada, de acuerdo a la unidad de medida de la energía

**Consumo específico de referencia:** se calcula dividiendo el consumo de referencia entre el dato de actividad de referencia.

**Diagrama de dispersión o correlación:** gráfico que muestra la relación entre dos tipos de datos, para mostrar la correlación negativa o positiva existente entre dos variables, en un gráfico X, Y.

**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:** electricidad, combustible, vapor, calor, aire comprimido y otros similares.

*Nota 1: para el propósito de la Norma ISO 50001:2011, 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.*

*NOTA 2: La energía puede definirse como la capacidad de un sistema de producir una actividad externa o de realizar trabajo.*

**Indicadores de desempeño energético (IDEn):** valor cuantitativo o medida de desempeño energético.

**Línea base energética:** referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético.

---

<sup>28</sup> AENOR, Norma Española (Septiembre 2011), Capítulo 3 Términos y definiciones, página 7.

**Uso de la energía:** forma o tipo de aplicación de la energía.

**Registro:** Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de actividades desempeñadas.

## **2.7 Conclusiones**

- Desde la década de 1970, el petróleo ha sido la principal fuente de ingresos del Ecuador y ha servido como “motor impulsor” de la economía nacional.
- Entre las primeras empresas en obtener la certificación ISO 50001 y que pertenecen a la corporación REPSOL son la refinería de la Coruña y Puertollano, estas empresas manejan un sistema integrado similar al del Bloque 16, esto facilitó significativamente la implementación del sistema de gestión energético.
- El sistema eléctrico del Bloque 16 tiene una potencia instalada de 153 MW, la demanda promedio es de 92 MW, la transmisión eléctrica de NPF a SPF y viceversa es en media tensión 34,5 kV, los pozos de producción trabajan con un nivel de media tensión de 2,4 kV, los motores de inyección de agua en las plantas de procesos NPF y SPF trabajan con 4,16 kV y en las locaciones con 2,4 kV, los sistemas auxiliares trabajan con baja tensión 0,48 kV.



## Capítulo 3

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Procedimiento para la obtención de los parámetros de campo

##### 3.1.1. Sistema de generación eléctrica en el Bloque 16

El control de la generación se lo realiza desde tres cuartos de control: dos en SPF (generación gas-diésel y generación a crudo) y uno en NPF (generación gas-diésel).

Cada cuarto de control posee un sistema automatizado de manejo de generadores y un sistema HMI<sup>29</sup> SCADA<sup>30</sup> de generación que permite al operador observar lo que sucede en las plantas de generación.



**Figura 3.1** Cuarto de control del sistema de generación

Fuente: (Departamento Eléctrico Bloque 16 REPSOL, 2012)

La figura 3.1 nos indica los monitores de la sala de control del sistema de generación gas-diésel.

La planta de generación eléctrica a crudo tiene un sistema denominado WOIS (sistema de interfaz de operador de Wärtsilä<sup>31</sup>), es un sistema usado por el personal de operaciones para obtener datos esenciales de la planta de generación.

---

<sup>29</sup> Interfaz Hombre - Máquina o HMI ("Human Machine Interface") es el aparato que presenta los datos a un operador (humano) y a través del cual éste controla el proceso.

<sup>30</sup> SCADA, acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia.

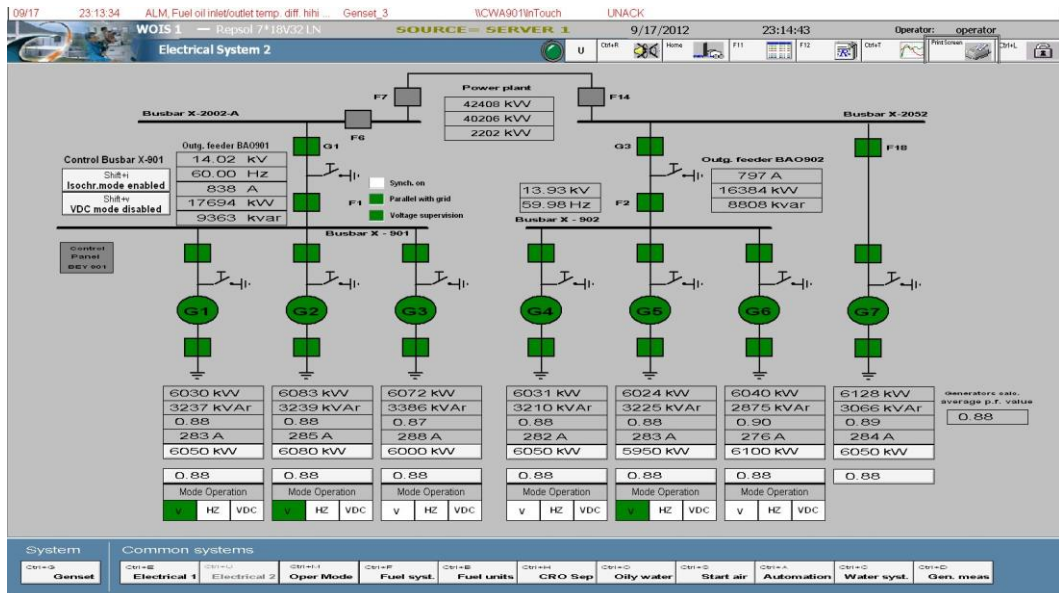


Figura 3.2 HMI SCADA de las señales eléctricas del sistema de generación

Fuente: (Departamento Eléctrico Bloque 16 REPSOL, 2012)

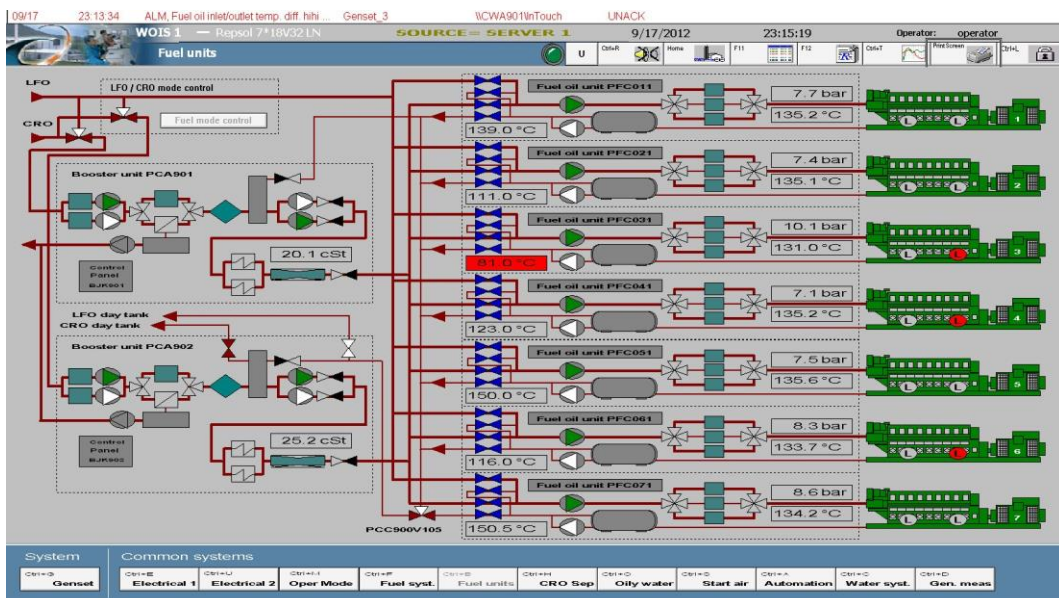


Figura 3.3 HMI SCADA de las señales de instrumentación del sistema de generación

Fuente: (Departamento Eléctrico Bloque 16 REPSOL, 2012)

Las figura 3.2 nos indica las variables eléctricas y en la figura 3.3 las variables del sistema de instrumentación de la central de generación a crudo.

<sup>31</sup> Wärtsilä es líder en el suministro de plantas de energía flexibles para el mercado global de generación.

### 3.1.2. Sistema de distribución eléctrica en el Bloque 16

Para el manejo del sistema eléctrico en el Bloque 16 se ha implementado sistemas de monitoreo remoto (micro SCADA SYS600<sup>32</sup> – ENERVISTA) y un esquema de alivio de carga diseñado para limitar la carga que transporta la interconexión NPF – Amo A (locación del SPF) como se puede observar en la figura 3.4 siguiente:

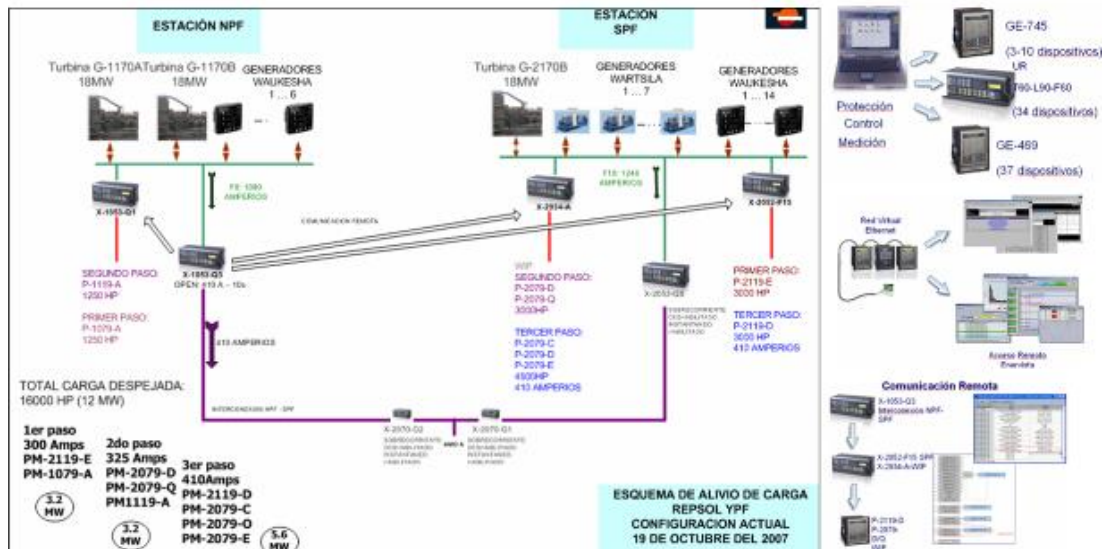


Figura 3.4 Sistemas de monitoreo remoto (micro SCADA SYS600 – ENERVISTA)

Fuente: (Departamento Eléctrico Bloque 16 REPSOL, 2012)

### 3.1.3. Sistema de producción de petróleo

En SPF del Bloque 16, se utiliza un PLC<sup>33</sup> de Allen Bradley para la parte de seguridad de los procesos, para la supervisión y monitoreo se utiliza el sistema PlantScape Process de Honeywell<sup>34</sup> y el Sistema de Control Distribuido<sup>35</sup> Foxboro es utilizado en el control de los procesos que involucran el procesamiento de crudo pesado.

<sup>32</sup> Micro SCADA Pro SYS 600.- Robusto y compacto, ofrece una solución ideal para subestaciones de distribución eléctrica.

<sup>33</sup> PLC: Controlador lógico programable

<sup>34</sup> PlantScape Process de Honeywell.- Posibilita una mayor rapidez que la combinación convencional PLC/SCADA. La clave está en una fuerte integración, ya que una sola base de datos realiza todas las funciones. La relación de Honeywell con Microsoft, hace que el funcionamiento sea perfecto.

<sup>35</sup> Un Sistema de control distribuido o SCD, más conocido por sus siglas en inglés DCS (Distributed Control System), es un sistema de control aplicado a procesos industriales complejos en las grandes industrias como petroquímicas, centrales de generación, plantas de tratamiento de aguas.

En NPF del Bloque 16, se utiliza el sistema PlantScape Process de Honeywell para la parte de control, supervisión y monitoreo de los procesos y los PLC's de Allen Bradley para la parte de seguridad de los procesos.

Para realizar el control de los procesos que involucran el procesamiento de crudo pesado se miden variables de los diferentes equipos ubicados en el campo.

El cuarto de control de cada planta, está diseñado para incorporar todas las herramientas interactivas necesarias para supervisar y dirigir todos los procesos que involucran el tratamiento de crudo, agua y gas a fin de realizar un seguimiento en tiempo real de las necesidades de los procesos tal como se indica en la figura 3.5 siguiente:

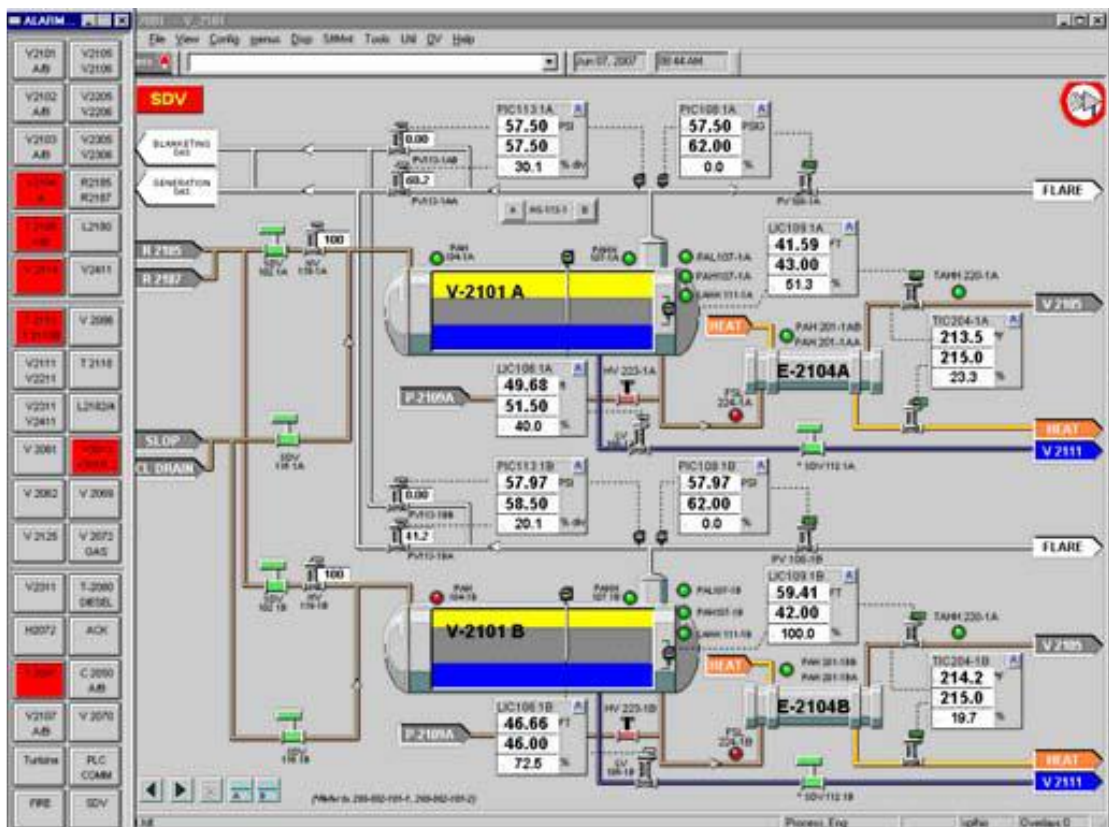


Figura 3.5 HMI SCADA del sistema de producción de petróleo

Fuente: (Departamento de Producción Bloque 16 REPSOL, 2012)

### Variables controladas en los equipos

Las variables mínimas a ser controladas en los equipos se detallan en la tabla 3.1 siguiente:

**Tabla 3.1 Variables mínimas controladas en los equipos**

<b>Equipo</b>	<b>Variables a medir</b>
Bombas de Superficie	Presión de Succión
	Presión de Descarga
	Flujo de liquido
	Consumo eléctrico
Bombas Electro sumergibles	Presión de fondo (BHP)
	Presión de cabeza (WHP)
	Flujo de fluido
	Consumo eléctrico
	Frecuencia
	Tiempo de operación en el día
Compresores	Presión de Succión
	Presión de Descarga
	Flujo de gas
	Consumo eléctrico
	Temperatura de succión
	Temperatura de descarga
Generadores	Consumo de combustible
	Energía generada

#### **3.1.4. Base de datos MAXIMO**

REPSOL utiliza el software de mantenimiento MAXIMO, esta base de datos permite que en los planes de trabajo se incluyan rutas, planes de seguridad, riesgos, precauciones, procedimientos de desconexión y conexión de equipos y rotulación de seguridad. Como el trabajo de mantenimiento preventivo a menudo es un trabajo repetitivo que se lleva a cabo para que el equipo continúe funcionando eficientemente, MAXIMO permite crear plantillas estándar para tareas, mano de obra, materiales, herramientas e información de seguridad necesarias para completar un trabajo. El uso de estas plantillas elimina la necesidad de ingresar en repetidas ocasiones información relacionada con el trabajo y la seguridad y evita riesgos de cambios no autorizados en procedimientos si ha habido cambios respecto de equipos y procedimientos, los que deben ser validados y estar vigentes para ejecutar las intervenciones que se pretenden.

### 3.2. Operacionalización de variables y las técnicas e instrumentos a utilizar.

**Tabla 3.2 Variable Independiente: sistema operacional del Bloque 16 de REPSOL**

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Sistema operacional del Bloque 16 de REPSOL, para la producción de crudo	Potencia requerida	Potencia eléctrica	kW	Cálculos	Ecuaciones
	Producción total de fluido	Producción de crudo, inyección de agua y crudo delivery	BPD (barriles por día)	Medición	Flujómetro

**Tabla 3.3 Variable Dependiente: Línea base energética**

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético	Energía consumida	Potencia eléctrica por tiempo	MWh-Día	Cálculos	Ecuaciones
	Eficiencia energética	Costos	\$	Cálculos	Ecuaciones

Las variables independientes se obtienen mediante mediciones y cálculos realizados por los indicadores que se tiene a disposición como son el HMI SCADA en la planta de generación y el PLC Allen Bradley, el sistema PlantScape Process de Honeywell, el Sistema de Control Distribuido Foxboro, las bitácoras y datos receptados por el personal de operaciones de la planta de producción de petróleo.

La variable dependiente energía consumida se obtiene mediante cálculos realizados por el HMI SCADA de la planta de generación y la eficiencia energética mediante las hojas de cálculo electrónica de Microsoft Office Excel.

### **3.3. Modalidad de la investigación**

#### **3.3.1. De campo**

La modalidad que siguió esta investigación es la de campo, debido a que los datos son recogidos de manera directa de la realidad por el propio investigador.

La metodología parte de un esquema, que se inicia en una etapa de diagnóstico, orientada a comprender cuál es la actual estrategia aplicada para las distintas formas de energías que se emplean en los procesos de la planta, identificando de forma particular, el perfil de demanda y consumo de volúmenes, para cada tipo de recurso energético.

La fase de análisis, tiene por propósito llevar adelante la detección y cuantificación de las oportunidades que ofrecen un potencial de ahorro, fundamentado en objetivos claros y plazos concretos, en términos de retorno de inversión.

Periodo considerado para establecer la “línea base”: entre enero 2004 y septiembre 2012, se tomaran los “datos oficiales disponibles”.

Recolectar los datos de consumo de energía y producción asociada a ellos para el mismo período de tiempo seleccionado (día, mes, año, etc.).

La metodología que se llevará adelante se iniciará con la determinación del nivel de madurez en la administración y gestión de las distintas formas de energías, abarcando el análisis de los procesos que involucran su generación, distribución y consumo.

Se aplica para tal fin, un enfoque metodológico sistémico<sup>36</sup>, basado en un programa de recorridos por las instalaciones de la planta y una agenda de reuniones con las personas involucradas directamente en la temática, como son las máximas autoridades de la planta, a fin de valorar aspectos tales como la cadena de suministro, recursos humanos, operación y mantenimiento, impacto económico-financiero, liderazgo, entre otros.

---

<sup>36</sup> Enfoque sistémico.- Presuponen la posibilidad de abordar la realidad como un todo, considerando sus componentes y los distintos estados de interacción entre ellos.



Una vez identificado el diagrama unifilar del Bloque 16, fue importante entender cómo es el proceso de monitoreo de los consumos eléctricos de cada área. REPSOL cuenta con un sistema de medición en cada circuito identificado por áreas del proceso, estas mediciones se hacen a diario, son registradas y una vez consolidada se archiva y se envía al departamento de Ingeniería de Mantenimiento.

### **3.3.2. Bibliográfica - Documental**

En la presente investigación existe bibliografía de apoyo: manuales, módulos, documentos, archivos digitales que han servido para sustentar teóricamente el problema de investigación, a través del análisis documental.

### **3.4. Población y muestra**

La muestra será tomada de los registros de los sistemas de monitoreo y control de los equipos de generación eléctrica, sistema de distribución de energía eléctrica y equipos rotativos.

### **3.5. Tipos de investigación**

**Explicativo:** Su objetivo es responder a las causas de los eventos, sucesos y fenómenos físicos y sociales.

Se utilizó esta metodología explicativa para el cálculo de eficiencias de los equipos de los sistemas de generación y producción total de fluido del Bloque 16.

Con el método de investigación explicativa debido a que es cuantitativa se pudo explicar el comportamiento de las variables y el descubrimiento de sus causas, con el estudio de casos, métodos comparativos causales, estudios correlacionales y estudios longitudinales.

Este tipo de investigación explicativo se utilizó por una gran capacidad de análisis, síntesis e interpretación de datos.

**Correlacional:** Pretende medir el grado de correlación entre dos o más variables.

Se utilizó para determinar cuál de los modelos propuestos en el capítulo 5 tiene mejor coeficiente de correlación.



Para aplicar esta metodología, se utilizó los datos de producción de fluido y de consumo eléctrico y se aplicó el modelo de regresión de datos que se ajuste mejor a los datos reales.

**Descriptivo:** Estos recolectan datos del problema a investigar, los miden y evalúan para describir lo que se investiga.

Con el diseño descriptivo se pudo describir el comportamiento de las variables y su relación o asociación con otras, la comprobación de cómo se conectan las variables para buscar algún tipo de explicación de los sistemas de generación y producción total de fluido del Bloque 16, y para de ese modo contrastar o demostrar nuestras hipótesis.

**Prospectiva:** Porque sigue una línea presente-futuro. La dirección que sigue el investigador es de la variable independiente a la variable dependiente, es decir, se conoce o se manipula una variable independiente y se miden cambios o consecuencias en una variable dependiente. En el caso de la presente investigación se tiene a disposición los datos en el periodo 2004 - 2012 con una proyección hasta el 2018.

### **3.6. Conclusiones**

- Para obtener los datos para los modelos de línea base energética del sistema de generación eléctrica se aplicaron las herramientas que se tiene a disposición como es el HMI SCADA que es un sistema usado por el personal de operaciones para obtener datos esenciales de la planta de generación.
- Para obtener los datos para los modelos de línea base energética del sistema de producción de petróleo se aplicaron las herramientas que se tiene a disposición como es el PLC de Allen Bradley para la parte de seguridad de los procesos, el sistema PlantScape Process de Honeywell para la supervisión y monitoreo de las señales de control y el Sistema de Control Distribuido Foxboro para el control de los procesos que involucran el procesamiento de crudo pesado y las bitácoras y datos receptados por el personal de operaciones.

## Capítulo 4

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Se analiza e interpreta los datos emitidos por los instrumentos mencionados en la metodología de la investigación.

#### Introducción

Para realizar el análisis del desempeño energético del proceso de producción de petróleo del Bloque 16, es necesario realizar el balance energético, con el objeto de identificar la cantidad real de energía aprovechada en trabajo y las pérdidas generadas en los diferentes sistemas, con el fin de identificar las locaciones con mayor potencial de ahorro en el uso de la energía y guiar las acciones correctivas correspondientes.

La energía requerida para el proceso de producción de petróleo en el Bloque 16 es autogenerada lo que ha permitido agrupar este análisis en varios sistemas, que se los describe a continuación:

- 1 Sistema de generación de energía eléctrica.
- 2 Sistema de producción y transporte de petróleo.
  - 2.1. Levantamiento artificial.
  - 2.2. Inyección de agua.
  - 2.3. Transporte de crudo.
  - 2.4. Separación.
  - 2.5. Varios.

Los sistemas identificados nos permiten separar en dos partes el análisis, la primera para la generación de la energía eléctrica y la segunda los usos y consumos de dicha energía que nos sirve para la producción de petróleo.

Para realizar el balance energético del Bloque 16, se ha tomado datos de campo de los distintos sistemas en tiempo real, los cuales son:

- Consumo de combustibles destinados a la generación de energía eléctrica.
- Consumo de combustibles destinados para el uso de maquinaria y transporte.

- Energía eléctrica generada por el sistema de generación para su uso y consumos en los procesos operativos y procesos de apoyo. Energía consumida por cada uso identificado en el Bloque 16.
- Medición de variables de operación de equipos y sistemas, con el fin de determinar el trabajo realizado por los mismos.

Para realizar el balance general de energía del Bloque 16, se parte de la premisa de la conservación de la energía:

$$\text{Energía de entrada}^{37} = \text{energía convertida en trabajo} + \text{pérdidas} \quad (1)$$

La corriente de energía de entrada está compuesta por:

- Energía entregada por los combustibles consumidos, tanto para la producción de energía eléctrica como para la operación de maquinaria (vehículos de pasajeros, vehículos de carga, taladros)
- Energía entregada por el gas de formación.

La energía convertida en trabajo es aquella que los equipos (bombas, compresores, sopladores) aprovechan para cumplir sus funciones determinadas, sea para mover los fluidos, el movimiento mecánico de maquinaria (vehículos, taladros), o energía transferida en forma de calor a los fluidos.

En tanto que, las pérdidas son las corrientes de energía que no se puede recuperar en el sistema de generación eléctrica debido a limitaciones tecnológicas, modos de operación, baja eficiencia de equipos usuarios de la energía, pérdidas de calor al ambiente, entre otras.

Las principales pérdidas de energía que se han identificado en el proceso del Bloque 16 son las siguientes:

- Calor no aprovechado por los sistemas de generación que se descarga al ambiente a través de las chimeneas.
- Pérdidas de energía en los sistemas de distribución eléctrica.
- Perdidas por quema de combustibles en las teas.
- Perdidas de energía en equipos en forma de calor debido a su rendimiento.

---

<sup>37</sup> CENGEL, Yunus; Fórmulas de significado físico; 5ta edición, página xxii (<http://tigrepetroloero.weebly.com/biblioteca-virtual.html>)

- Pérdidas por fricción del flujo de fluidos en tuberías.
- Pérdidas de calor de fuentes calientes al medio ambiente (tuberías o equipos que operan a temperaturas mayores a la ambiental).

Para realizar el balance de energía global del proceso, se han realizado las siguientes consideraciones:

- Los datos de las propiedades físico químicas de los combustibles son constantes durante el tiempo del análisis.
- Los datos de entrada para el análisis de los diferentes sistemas corresponden o equivalen a un día de operación promedio normal del Bloque 16, durante el periodo agosto - diciembre 2012.
- La calidad de combustibles es constante.
- En equipos que no se dispone de datos reales de consumo energético y caudal se tomará el dato nominal para los cálculos requeridos.
- No se consideran los siguientes valores debido a que son relativamente bajos en comparación a otros equipos:
  - a) Las corrientes internas de energía de los procesos internos que ocurren en las facilidades, sino aquellas que entran o salen de las mismas.
  - b) Las pérdidas por fricción en tuberías y equipos.
  - c) Las pérdidas de calor por radiación y convección de los equipos calientes.

#### **4.1. Resultados de la recolección de datos del sistema de generación de energía eléctrica**

El sistema de generación de electricidad está dividido en los siguientes subsistemas, que han sido clasificados por locación y tipo de equipo, de acuerdo a lo establecido en el sistema de gestión integrado:

- Generación gas NPF
- Generación turbina NPF
- Generación gas SPF
- Generación turbina SPF
- Generación crudo SPF

- Generación turbinas SSFD

### **Consideraciones de cálculo**

Para este análisis se han tomado las siguientes consideraciones:

- Entiéndase por subsistema al conjunto de máquinas o equipos iguales que generan energía eléctrica en base al mismo proceso termodinámico.
- Debido a la disponibilidad de datos en campo de consumos de combustibles y energía generada, el análisis que se realiza será por subsistema y no por máquina o generador específico.
- Los datos de entrada para el análisis equivalen a un día de operación promedio normal del Bloque 16
- Para el cálculo de las pérdidas de energía en el sistema de generación eléctrica está considerado el calor que se transfiere al sistema de aceite térmico.
- Se asume que la calidad de combustible utilizado en cada máquina es constante y no ha sufrido cambios considerables en composición y propiedades físicas.
- El potencial de ahorro se determinará en base a la eficiencia nominal de los equipos típicos de cada subsistema evaluada en condiciones de sitio; estableciendo de esa manera la cantidad máxima teórica de ahorro de los equipos instalados en el Bloque 16, esto se detallará en el acápite 5.10 evaluación económica, potencial de ahorro.
- Se considera el consumo de energía de los equipos auxiliares (compresores de aire, bombas de lubricantes, centrifugadoras y otros equipos que consumen energía en el sistema de generación) como no significativos.
- No se consideran las pérdidas de calor por radiación en los equipos del sistema.
- En este análisis no se realizará el cálculo de eficiencias de equipos por los ciclos termodinámicos, únicamente por las entradas y salidas de energía.
- El balance se ha definido en MWh-Día para lo cual se utilizarán los factores de conversión correspondientes.
- Para la realización se tomaron datos de la matriz del inventario de gases de efecto invernadero, se tomó los datos del período analizado de consumo de

combustible, y generación de energía. Los resultados del cálculo se los ha almacenado en la matriz de cálculo de eficiencia del sistema de generación

### **Planteamiento del balance energético**

La energía de entrada al sistema de generación eléctrica se obtiene del consumo de combustibles y corresponde a la energía química que disponen los combustibles para que los generadores las transformen en energía eléctrica

El balance energético del sistema de generación se plantea de la siguiente forma:

$$\text{Energía combustible}^{38} = \text{energía generada} + \text{calor recuperado} + \text{pérdidas} \quad (2)$$

### **Cálculo de la energía del combustible<sup>39</sup>**

Para calcular la energía que el combustible entrega químicamente por combustión al sistema se utiliza la expresión siguiente:

$$\text{Energía Combustible} = (\text{Flujo combustible}) * \text{PCI} \quad (3)$$

Dónde: PCI = poder calorífico inferior del combustible<sup>40</sup> (BTU/lb)

Para el cálculo de la energía de ingreso al sistema de generación se utilizará el poder calorífico de los combustibles como se detalla en la tabla 4.1:

**Tabla 4.1 Poder calorífico inferior combustibles de generadores<sup>41</sup>**

<b>Poder calorífico</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Unidad</b>
Crudo sur	39832,8	kJ/kg
Diésel	19425	BTU/lb
Gas NPF	37,17	MJ/m <sup>3</sup>
Gas SPF	31,11	MJ/m <sup>3</sup>

Fuente: análisis cromatográfico de combustibles, empresa SGS del Ecuador S.A.,  
21 de septiembre de 2012.

<sup>38</sup> La podemos visualizar en el Figura 5.10 Diagrama de flujo energético del sistema de generación eléctrica del Bloque 16.

<sup>39</sup> CENGEL, Yunus; Capítulo 2 “Energía, Transferencia de Energía y Análisis de Energía general”; 5ta edición, página 51 (<http://tigrepetroloero.weebly.com/biblioteca-virtual.html>)

<sup>40</sup> Poder calorífico inferior (PCI).- Es el calor que puede obtenerse en la combustión completa de la unidad de combustible, si en los productos de la combustión el agua está en forma de vapor. Una parte del calor generado en las oxidaciones se utiliza para evaporar el agua y por ello ese calor no se aprovecha.

<sup>41</sup> Fuente: análisis cromatográfico de combustibles, empresa SGS del Ecuador S.A., 21 de septiembre de 2012.

### **Cálculo de pérdidas de energía<sup>42</sup>.**

Para calcular las pérdidas reales de energía, primero se calcula la energía recuperada de los gases de escape de las turbinas mediante el sistema de recuperación de calor a base de aceite térmico, aplicando la siguiente ecuación:

$$Q_{REC} = M_{AC}C_{PAC}(T_f - T_i) \quad (4)$$

Dónde:  $Q_{REC}$  = Calor recuperado por el aceite térmico.

$M_{AC}$  = Flujo másico del aceite térmico.

$C_{PAC}$  = Calor específico del aceite térmico utilizado.

$T_f$  = Temperatura del aceite térmico a la salida del sistema de recuperación de calor.

$T_i$  = Temperatura del aceite térmico a la entrada del sistema de recuperación de calor.

Para el cálculo de la recuperación de calor se ha tomado el flujo másico nominal (P&ID) y las temperaturas medidas reales de ingreso y salida del sistema de recuperación de calor.

Mediante la siguiente ecuación, se calcula las pérdidas de energía globales del sistema:

$$Q_P = Q_S - Q_{REC} \quad (5)$$

Dónde:  $Q_P$  = Pérdida de calor en el subsistema.

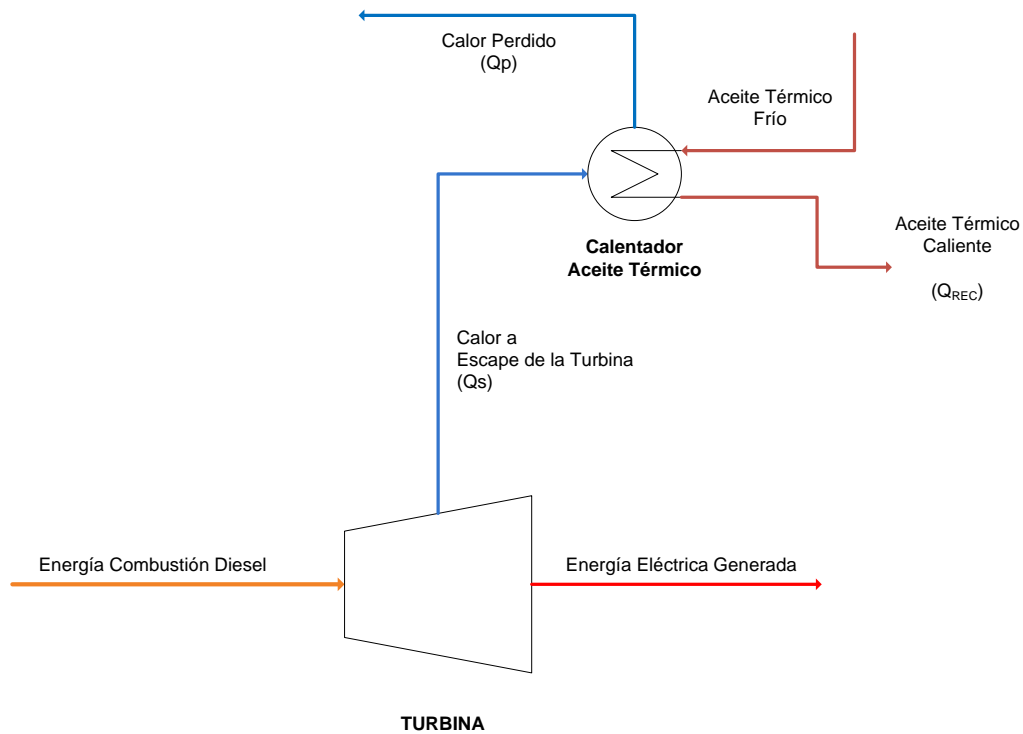
$Q_{REC}$  = Calor recuperado por el aceite térmico.

$Q_S$  = Calor de salida del subsistema por el escape

En la figura 4.1 se muestra el diagrama esquemático de recuperación típico en las turbinas:

---

<sup>42</sup> CENGEL, Yunus; Capítulo 2 “Energía, Transferencia de Energía y Análisis de Energía general”; 5ta edición (<http://tigrepetrolero.weebly.com/biblioteca-virtual.html>)



**Figura 4.1 Diagrama esquemático de recuperación típico en las turbinas**

En la tabla 4.2 se presenta el balance general del sistema de generación eléctrica por cada locación y subsistema (crudo, gas y diésel); en la cual se muestra el consumo de los diferentes combustibles, la energía de combustión de cada uno de los combustibles, valor promedio de energía eléctrica generada tomada del HMI SCADA de las plantas de generación, la energía calorífica recuperada en el sistema de aceite térmico y las pérdidas de energía resultantes del balance energético desarrollado.



**Tabla 4.2 Balance general del sistema de generación eléctrica**

Locación	Subsistema	Consumo de energéticos	MWh-Día			Calor recuperado
			Energía combustión	Generación energía	Pérdidas	
Sur	Generación crudo	1533 BPD	107,38	43,01	64,37	0.00
	Generación gas sur	1417 MSCFD <sup>43</sup>	14,46	4,01	10,45	0.00
	Turbina SPF	3865 MSCFD	39,44	17,25	22,19	6.17 MJ/m <sup>3</sup>
Norte	Generación gas norte	921 MSCFD	9,40	2,84	6,56	0.00
	Turbina NPF	1368 BDPD <sup>44</sup>	89,73	28,05	61,68	8.98 MJ/m <sup>3</sup>
SSF	Turbina SSF	114 BDPD	7,49	1,35	6,14	3.34 MJ/m <sup>3</sup>
Total Bloque 16			267,9	96,51	171,4	18.49 MJ/m <sup>3</sup>

#### **4.2. Resultados de la recolección de datos del sistema de producción y transporte de petróleo**

Para identificar el nivel de intensidad y consumo eléctrico teórico de los sistemas del Bloque 16, se ha desarrollado el balance del consumo de energía del Bloque 16 a partir de datos nominales de los equipos.

##### **Levantamiento de información**

Para la realización del cálculo, se han utilizado las especificaciones técnicas de los equipos que conforman cada sistema, con el objeto de llegar a determinar el consumo eléctrico nominal del Bloque 16 y la proporción de los consumos de energía de cada sistema con respecto al consumo total.

Los datos requeridos fueron tomados de los diagramas de tubería e instrumentación (P&ID's), inventarios del máximo, registros de equipos entregados por REPSOL y la matriz de identificación técnica y especificaciones de equipos y sistemas.

<sup>43</sup> MSCFD.- Miles de pies cúbicos por día (unidad de volumen)

<sup>44</sup> BDPD.- Barriles de diésel producidos por día

Los equipos fueron clasificados por locación y por sistema, con el fin de identificar los sistemas que son los mayores consumidores de energía.

### **Consideraciones del cálculo**

- Se ha considerado la operación de los equipos en función a los volúmenes de producción de fluido total y de crudo con los que trabajan las instalaciones del Bloque 16, en los periodos que se reportaron los datos.
- Para los procesos de separación de NPF y SPF no están considerado los ventiladores de los trenes de compresión de gas y las bombas de drenaje, por falta de información.
- Se ha corregido el consumo eléctrico de los equipos que operan a frecuencias diferentes a la especificada como nominal. Esto aplica principalmente a las bombas electro-sumergibles. La frecuencia eléctrica con la que se trabajó es la promedio del mes de agosto de 2012.
- No se han considerado los equipos que se encuentran fuera de servicio o desmontados.

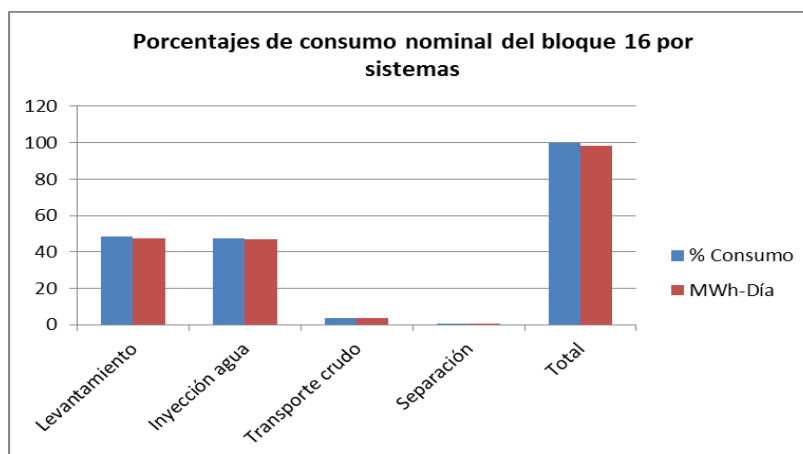
#### **4.2.1. Resultado consumo nominal globales del sistema de producción y transporte de petróleo del Bloque 16**

En la tabla 4.3 y figura 4.2 se presentan los resultados globales de los porcentajes de consumos de energía nominales por sistemas usuarios y consumidores de energía del Bloque 16 indicados en los registros adjuntos RG-26-EC-01 modelos de línea base energética y RG-26-EC-02 proyección 2018 y seguimiento del consumo eléctrico.

**Tabla 4.3 Resultados globales por sistema del consumo eléctrico nominal del Bloque 16**

<b>Sistema</b>	<b>% Consumo</b>	<b>MWh-Día</b>
Levantamiento	48,29	47,45
Inyección agua	47,58	46,75
Transporte crudo	3,60	3,54
Separación	0,52	0,51
Total	100,00	98,24

Fuente: registro RG-26-EC-01 modelos de línea base energética



**Figura 4.2 Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por sistemas**

En la tabla 4.4 y figura 4.3 se presentan los resultados globales de los porcentajes de consumos de energía nominales por sistemas usuarios y consumidores de energía del Bloque 16 y el área donde se ubican.

**Tabla 4.4 Resultados globales por sistema y área del consumo nominal del Bloque 16**

Sistema	% Consumo	MWh-Día
Levantamiento sur	39,51	38,81
Inyección agua sur	35,30	34,68
Inyección agua norte	12,28	12,07
Levantamiento norte	8,79	8,64
Transporte de crudo	3,60	3,54
Separación sur	0,42	0,41
Separación norte	0,11	0,10
Total	100,00	98,24

Fuente: registro RG-26-EC-01 modelos de línea base energética

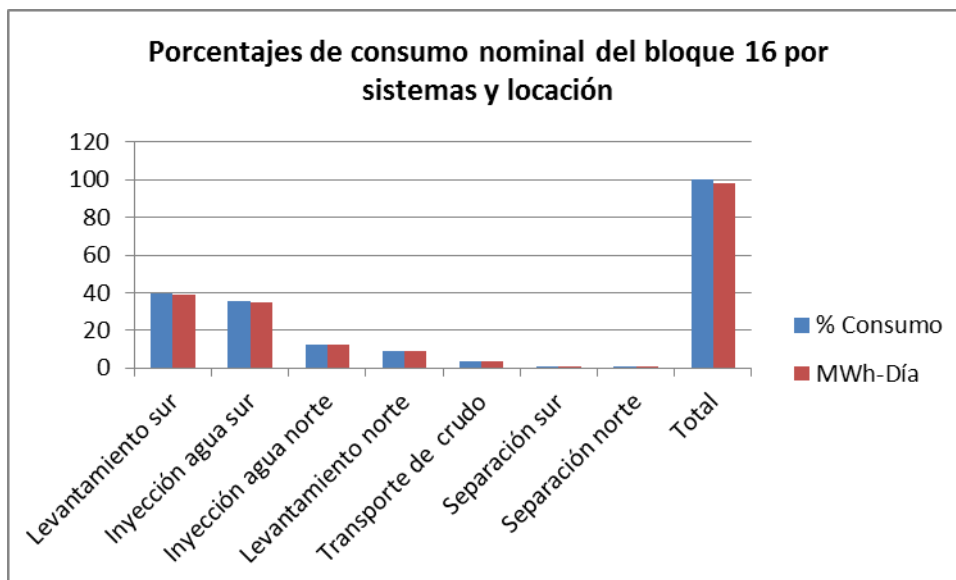


Figura 4.3 Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por sistemas y locación

#### 4.2.2. Resultados de consumo nominal del SPF

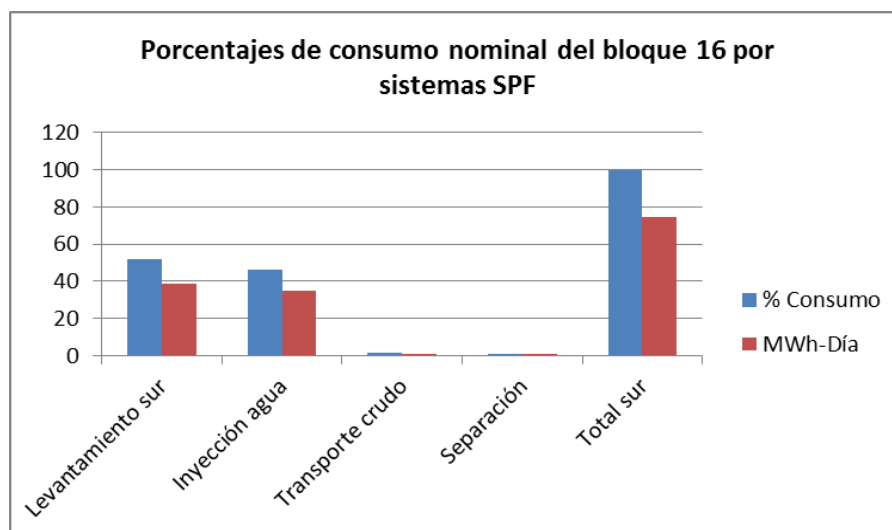
Se compilan los datos de los sistemas ubicados en el SPF del Bloque 16.

En la tabla 4.5 y figura 4.4 se presentan los resultados por cada sistema usuario y consumidor de energía.

Tabla 4.5 Resultados consumo nominal por sistemas del SPF

Sistemas SPF (75,23% del consumo total)	% Consumo	MWh-Día
Levantamiento sur	51,86	38,81
Inyección agua	46,34	34,68
Transporte crudo	1,25	0,93
Separación	0,55	0,41
Total sur	100,00	74,83

Fuente: registro RG-26-EC-01 modelos de línea base energética



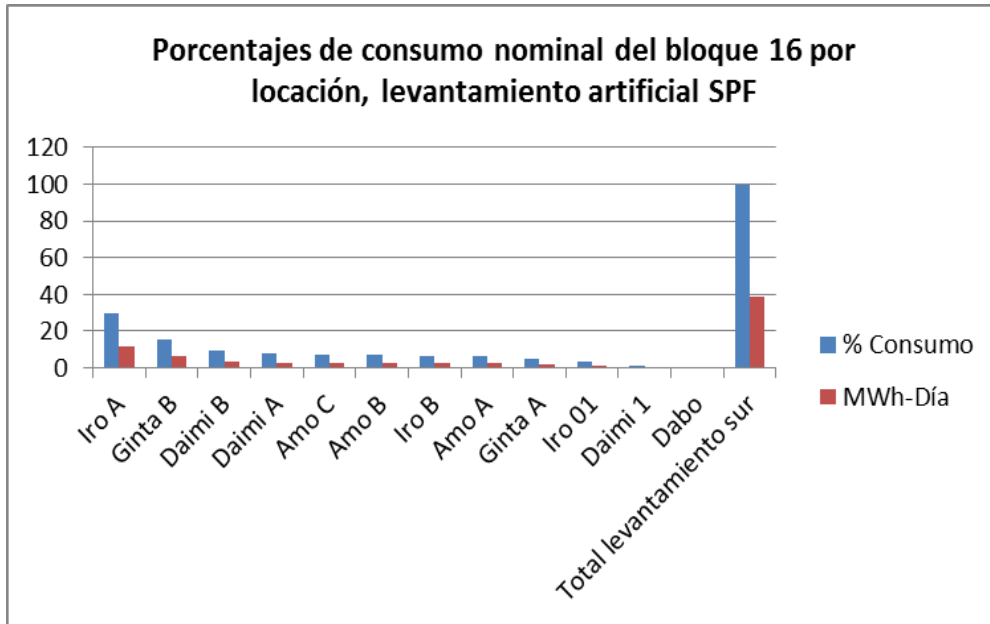
**Figura 4.4 Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por sistemas SPF**

En la tabla 4.6 y figura 4.5 se presentan los resultados del sistema de levantamiento artificial del SPF, por cada uno de las locaciones existentes.

**Tabla 4.6 Resultados consumo nominal sistema de levantamiento artificial por locación del SPF**

Levantamiento Sur (39,51% del consumo total)	% Consumo	MWh-Día
Iro A	29,45	11,43
Ginta B	15,79	6,13
Daimi B	9,53	3,70
Daimi A	7,68	2,98
Amo C	7,30	2,83
Amo B	7,11	2,76
Iro B	6,36	2,47
Amo A	6,38	2,48
Ginta A	5,10	1,98
Iro 01	3,67	1,42
Daimi 1	0,88	0,34
Dabo	0,74	0,29
Total levantamiento sur	100,00	38,81

Fuente: registro RG-26-EC-01 modelos de línea base energética



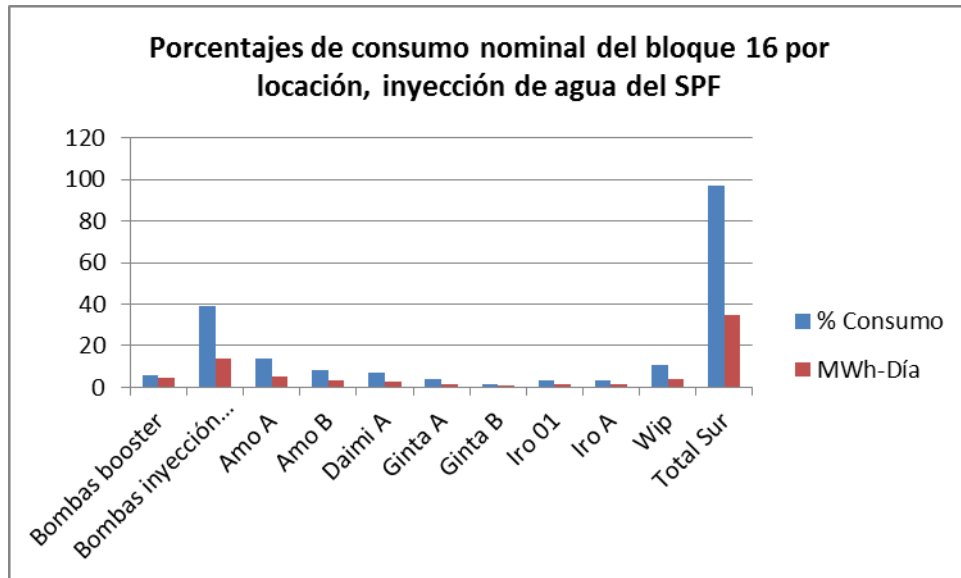
**Figura 4.5 Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por locación, levantamiento artificial SPF**

En la tabla 4.7 y figura 4.6 se presentan los resultados del sistema de inyección de agua del SPF, por cada uno de las locaciones existentes.

**Tabla 4.7 Resultados consumo nominal sistema de inyección de agua por locación del SPF**

Inyección de agua sur (35,30% del consumo total)		% Consumo	MWh-Día
Bombas booster		5,93	4,44
Bombas inyección agua intermedia		38,84	13,88
Bombas de inyección de alta presión	Amo A	14,06	5,02
	Amo B	8,42	3,01
	Daimi A	6,83	2,44
	Ginta A	3,70	1,32
	Ginta B	1,72	0,62
	Iro 01	3,60	1,29
	Iro A	3,31	1,18
	Wip	10,65	3,80
Total sur		97,07	34,68

Fuente: registro RG-26-EC-01 modelos de línea base energética



**Figura 4.6 Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por locación, inyección de agua del SPF**

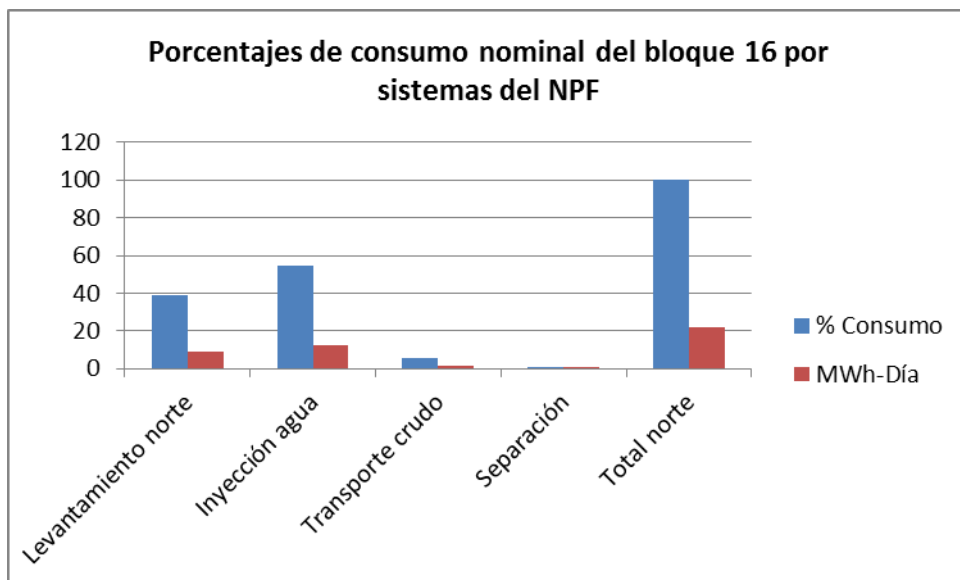
#### 4.2.3. Resultados de consumo nominal del NPF

Se compilan los datos de los sistemas ubicados en el NPF del Bloque 16. En la tabla 4.8 y figura 4.7 se presentan los resultados por cada sistema usuario y consumidor de energía.

**Tabla 4.8 Resultados consumo nominal por sistemas del NPF**

<b>Sistemas NPF (21,18% del consumo total)</b>	<b>% Consumo</b>	<b>MWh-Día</b>
Levantamiento norte	39,13	8,64
Inyección agua	54,69	12,07
Transporte crudo	5,71	1,26
Separación	0,47	0,10
Total norte	100,00	22,07

Fuente: registro RG-26-EC-01 modelos de línea base energética



**Figura 4.7** Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por sistemas del NPF

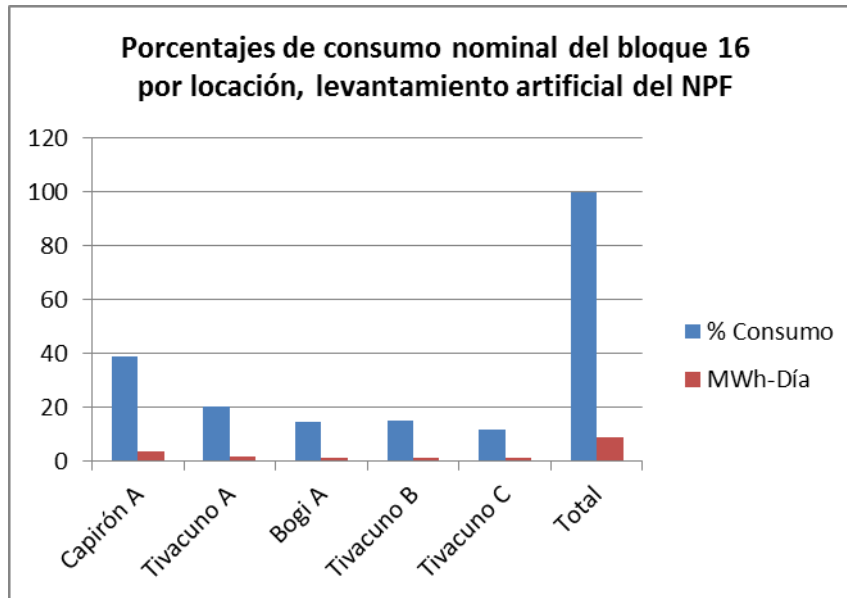
En la tabla 4.9 y figura 4.8 se presentan los resultados de sistema de levantamiento artificial del NPF.

**Tabla 4.9** Resultados consumo nominal sistema de levantamiento artificial por locación del NPF

Sistema levantamiento del NPF (8,7% del consumo total)	% Consumo	MWh-Día
Capirón A	39,04	3,37
Tivacuno A	20,27	1,75
Bogi A	14,36	1,24
Tivacuno B	14,89	1,29
Tivacuno C	11,45	0,99
Total	100,00	8,64

Fuente: registro RG-26-EC-01 modelos de línea base energética





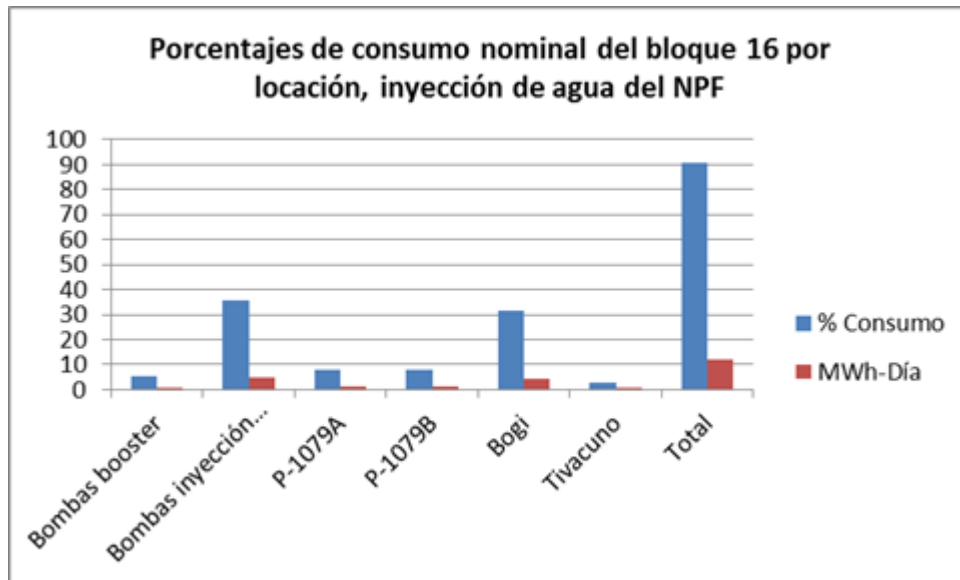
**Figura 4.8 Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por locación, levantamiento artificial del NPF**

En la tabla 4.10 y figura 4.9 se presentan los resultados del sistema de inyección de agua del NPF.

**Tabla 4.10 Resultados consumo nominal sistema de inyección de agua por locación del NPF**

Sistema inyección agua del NPF (12,28% del consumo total)		% Consumo	MWh-Día
Bombas booster		5,10	0,68
Bombas inyección agua intermedia		35,54	4,73
Bombas de inyección de alta presión	P-1079A	7,73	1,03
	P-1079B	7,73	1,03
	Bogi	31,77	4,23
	Tivacuno	2,87	0,38
Total		90,73	12,07

Fuente: registro RG-26-EC-01 modelos de línea base energética



**Figura 4.9** Porcentajes de consumo nominal del Bloque 16 por locación, inyección de agua del NPF

#### **4.2.4. Balance energético de los sistemas de producción y transporte de petróleo del Bloque 16**

Los usos y consumos de energía incluyen a todos los sistemas en los cuales se encuentran las principales facilidades que se utilizan en el proceso de producción de petróleo del Bloque 16, relacionados directa o indirectamente con esta actividad. De acuerdo a la descripción del proceso de producción del Bloque 16 y a la definición en el sistema de gestión de los procesos operativos se llegó a la clasificación de los sistemas de usos y consumos, misma clasificación que es utilizada para el desarrollo de la revisión energética, los sistemas identificados son:

- a) Levantamiento artificial.
- b) Inyección de agua de formación.
- c) Transporte de crudo.
- d) Separación o deshidratación.
- e) Sistemas varios.

#### **Planteamiento del balance de energía**

Partiendo que la función de la gran mayoría de los sistemas de usos y consumos de energía, son transporte de fluidos, en donde, está involucrado el trabajo de

bombas y flujos de fluidos a través de tuberías el análisis del desempeño energético se lo realizar con el modelo siguiente<sup>45</sup>:

$$\text{Consumo energía} = \text{trabajo bomba} + \text{pérdidas} \quad (6)$$

El trabajo de la bomba se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Trabajo bomba} = P_H * t \quad (7)$$

Dónde:  $P_H$  = Potencia hidráulica de la bomba, MW

$t$  = Tiempo de operación, días

### Consumo eléctrico de usos y consumos por sistema y locación

Para la realización del balance de energía en los equipos consumidores de energía, se han calculado las eficiencias de los equipos que conforman los sistemas significativos en el consumo de energía eléctrica, es decir, levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo.

En la tabla 4.11 se presentan los resultados del balance de energía en usos y consumos específicos.

**Tabla 4.11 Consumo eléctrico de usos y consumos por sistema y locación**

Locación	Sistema (MWh-Día)				Total locación (MWh-Día)
	Levantamiento artificial	Inyección agua	Transporte crudo	Separación	
Sur	41.1	32.02	0.93	0.41	74.46
Norte	8.7	10.03	1.26	0.1	20.09
SSFD	0	0	1.34	0	1.34
<b>Total sistema</b>	49.8	42.05	3.53	0.51	95.89

Fuente: registro RG-26-EC-01 modelos de línea base energética

Los usos y consumos relacionados con la planta topping<sup>46</sup>, campamentos, oficinas, bodegas y talleres no han sido contemplados en este balance debido a la no disponibilidad de datos para su análisis.

En la tabla 4.12 se presentan los consumos de energía eléctrica medida, la energía útil calculada de acuerdo a la ecuación 7, las pérdidas calculadas de acuerdo a la

<sup>45</sup> CENGEL, Yunus; Capítulo 2 “Energía, Transferencia de Energía y Análisis de Energía general”; 5ta edición (<http://tigrepetrolero.weebly.com/biblioteca-virtual.html>)

<sup>46</sup> Planta Topping.- Planta de tratamiento del crudo extraído del yacimiento, para obtener diésel en el Bloque 16.

ecuación 6 y los resultados de las eficiencias por locación y sistemas del Bloque 16.

**Tabla 4.12 Balance de consumo energético eléctrico de usos y consumos**

Sistema	Área	Locación	Consumo (MWh-Día)	Energía útil (MWh-Día)	Pérdidas totales (MWh-Día)	Eficiencia media (%)
Levantamiento artificial	Sur	Iro A	12,47	3,05	9,42	24,48
		Ginta B	5,94	1,58	4,36	26,66
		Daimi B	3,84	0,98	2,86	25,54
		Daimi A	3,23	0,82	2,41	25,34
		Amo C	3,22	0,96	2,26	29,72
		Amo B	3,13	0,62	2,51	19,65
		Amo A	2,92	1,01	1,92	34,4
		Iro B	2,49	0,58	1,9	23,49
		Iro 01	2	0,44	1,55	22,19
		Ginta A	1,88	0,45	1,43	23,85
	Norte	Capirón	3,77	0,98	2,8	25,91
		Tivacuno	3,68	0,92	2,76	25,09
		BOGI	1,3	0,4	0,89	31,01
	Total			49,87	12,79	37,08
Inyección agua	Sur	Amo A	4,47	2,91	1,56	65,2
		Amo B	3,35	2,23	1,12	66,7
		Wip	4,47	3,23	1,24	72,25
		Daimi A	1,2	0,87	0,33	72,25
		Iro 01	1,2	0,9	0,3	74,66
		Iro A	1,5	1,18	0,32	78,4
		Ginta A	1,5	1,18	0,32	78,8
		Ginta B	1,2	0,76	0,44	63,32
		SPF	15,09	10,42	4,67	69,04
	Norte	Bogi	1,27	0,77	0,5	60,84
		Capirón	1,12	0,84	0,28	75
		NPF	5,59	3,96	1,63	70,92
TOTAL			41,96	29,25	12,71	70,62
Transporte crudo	Sur	SPF	0,93	0,39	0,54	41,73
	Norte	NPF	1,26	0,51	0,75	40,78
	SSFD	SSDF	1,34	1	0,34	74,65
	Total			3,53	1,9	1,63
Total			95,36	43,95	51,41	51,17

Fuente: registro RG-26-EC-01 modelos de línea base energética

Las pérdidas identificadas o calculadas en la tabla 4.12 consideramos que se presentan por lo siguiente:

- Bajo rendimiento de los equipos

- Limitaciones tecnológicas (en sistema de producción no se tiene medidores de fluido instalados, razón por la cual se ha tomado algunos valores referenciales y calculados).
- Modos de operación, como se indicó en las limitaciones no se tiene medidores de flujo instalados en algunos puntos del sistema de producción los mismo que se tuvieron que referenciarlos mediante cálculos matemáticos.
- Propiedad de los fluidos
- Disponibilidad de equipos de back up
- Antigüedad de los equipos

### **Energía perdida en emisiones de teas**

Para calcular la energía perdida en los sistemas de tea se han tomado los datos de consumo de gas quemado en cada una de las locaciones (NPF, SPF, Tivacuno), consideramos que esta energía no puede ser utilizada por las condiciones normales de operación, por lo que no es considerado en el cálculo del potencial de ahorro energético del Bloque 16. En la tabla 4.13 se presentan el cálculo de energía en las teas del Bloque 16.

**Tabla 4.13 Cálculo de energía en las teas del Bloque 16**

<b>Locación</b>	<b>Flujo de gas quemado (MSCFD)</b>	<b>Flujo total de gas obtenido en la facilidad (MSCFD)</b>	<b>Energía perdida en emisión (MWh-Día)</b>	<b>Porcentaje de energía perdida (%)</b>
SPF	383,33	3736,04	3,91	12,75
NPF	95,98	1091,1	1,17	8,95
Tivacuno	760,14	760,14	9,35	100
Total bloque 16	1239,45	5587,28	15,24	23,14

Fuente: registro RG-26-EC-01 modelos de línea base energética

### **4.3. Conclusiones**

- Se determinó que los procesos de mayor consumo de energía eléctrica son: levantamiento artificial e inyección de agua con un porcentaje de 47,45 % y 46.75 % respectivamente, siendo el levantamiento artificial del SPF el de mayor consumo con un 39.51 % del consumo total.

- El sistema de generación a gas aprovecha casi el 100% del gas disponible en el Bloque 16, razón por la cual la turbina del NPF no se lo puede hacer trabajar con un sistema dual gas-diésel, por lo que el potencial de ahorro está en los generadores de gas y crudo haciéndolos trabajar en sus curvas de operación para un máximo rendimiento, esto se lo puede hacer mediante un estudio minucioso de los componentes del volumen del gas y crudo que tienen componentes de poder calorífico de mezcla.
- Con el levantamiento de información realizado del Bloque 16 y registrados en los archivos adjuntos RG-26-EC-01 modelos de línea base energética y RG-26-EC-02 proyección 2018 y seguimiento del consumo eléctrico se pudo determinar los modelos de línea base para la gestión energética de REPSOL.

## Capítulo 5

### PROPUESTA

#### 5.1. Título de la propuesta

Diseño de modelos de línea base para la gestión energética de REPSOL

#### 5.2. Justificación de la propuesta

Los modelos de línea base se enfocan a los procesos consumidores de energía eléctrica, evaluándose la cantidad de energía que consumen los procesos: los flujos de producción, inyección de agua y crudo delivery.

#### 5.3. Objetivo de la propuesta

Establecer los modelos que se utilizará para la línea base energética del Bloque 16 de REPSOL para el periodo 2004 – 2012 para la Norma ISO 50001:2011.

#### 5.4. Estructura de la propuesta

La estructura de la propuesta de los modelos de línea base para la gestión energética de REPSOL, se contiene en los registros RG-26-EC-01 Modelos de líneas de base energéticas y RG-26-EC-02 Proyección 2018 y seguimiento del consumo eléctrico.

#### 5.5. Desarrollo de la propuesta

El equipo de gestión de la energía<sup>47</sup> establecerá la línea de base energética, usando información de la revisión inicial de consumos de energía y del desempeño energético durante el periodo de análisis definido por la organización, el mismo que servirá para hacer comparaciones futuras de las mejoras en el desempeño energético luego de la implementación del sistema de gestión energético.

La línea de base energética se la normalizó utilizando las variables principales que afectan al uso y al consumo de la energía, por ejemplo, barriles de producción de

---

<sup>47</sup> Equipo de gestión de la energía EGE.- Persona(s) responsable(s) de la implementación eficaz de las actividades del sistema de gestión de la energía y de la realización de las mejoras en el desempeño energético.

crudo, barriles de agua inyectados, barriles de transporte de crudo, consumo de energía, tomando en consideración el tiempo y/o dólares utilizados.

De acuerdo con esta línea de base energética, la información generada o desarrollada, se la registra mensualmente en los reportes correspondientes a cada proceso, la misma será graficada en una curva de acuerdo a la metodología establecida por REPSOL “Metodología para la elaboración de la Línea de Base Energética”

Los ajustes en la línea base se harán en el caso de que se produzcan uno o más, de las siguientes consideraciones:

- Los indicadores del desempeño de la energía ya no reflejan el uso y consumo de energía de cada uno de los procesos o del Bloque 16.
- Cuando se produzcan cambios significativos en los procesos de producción, patrones operacionales o cambios en consideración de los sistemas de energéticos
- Cambios en la metodología para supervisar, monitorear y medir el uso y consumo de la energía.
- Cambios por introducción de nuevas tecnologías o mejora en las buenas prácticas de buen uso de la energía.

La línea de base energética e indicadores también puede ser utilizada para calcular los ahorros energéticos, como una referencia antes y después de implementar las acciones de mejora del desempeño energético, como son:

- Ahorro en el consumo de combustible (gasolina, gas, diésel y crudo).
- Reducción en el consumo de energía eléctrica.
- Reducción en la diferencia del consumo teórico y el consumo real en áreas específicas.
- Mejoramiento de eficiencia de transformación de energía eléctrica en trabajo hidráulico.
- Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.

## **5.6. Revisión de la Línea Base**

La línea de base energética se actualiza cada año, idealmente basada en un análisis de regresión y en base a los consumos específicos reales de los 12 meses anteriores a la elaboración de la proyección anual o presupuestada.



El motivo para actualizar anualmente la línea base es disponer de un seguimiento lo más cercano y realista posible, ajustado a la situación más actual a la producción de fluidos y nuevos proyectos, cuyos consumos energéticos están afectados por las variables siguientes:

- Nuevas plataformas de producción,
- Modificaciones en instalaciones,
- Cambio en el corte de agua de producción,
- Tipos de crudo producido,
- Variaciones significativas en las condiciones de operación,
- Cambio en las leyes o introducción de nuevas tecnologías, etc.

De esta forma, es posible realizar un análisis de desviaciones respecto a los consumos teóricos establecidos como referencia, que sirva para realizar actuaciones correctivas en caso necesario.

Cuando se realiza una actualización de la línea base e indicadores, se genera una revisión del registro RG-26-EC-01 Modelos de Líneas de Base Energéticas, el mismo que es mantenido por el equipo de gestión de la energía, donde deben ser registrados los datos necesarios para la elaboración de la línea de base y su correspondiente gráfico.

Esta metodología, al comparar los consumos específicos respecto al año anterior, permite que los ahorros reales frente a la línea base anual se puedan acumular a lo largo de los años, siendo posible comparar la situación actual frente a la de cualquier año anterior.

Cada área realiza el seguimiento de la línea de base, permitiendo que los diferentes procesos puedan identificar desviaciones en el desempeño energético de cada uno de sus sistemas, comparando los indicadores frente a la línea base en términos homogéneos de actividad.

### **5.7. Metodología para le elaboración de la Línea de Base Energética**

Los modelos de líneas de base identificados para la gestión energética de REPSOL Ecuador son:

1. Modelo de relación consumo eléctrico vs producción de fluido.
2. Modelo de Variables Específicas.
3. Modelo base multi-variante (Sistemas Usuarios y Consumidores de Energía Eléctrica).

La metodología y criterios a más de las referencias de datos utilizados para su implementación se describe en los Modelos de Línea de base Energética, documento que permite conocer de forma detallada cada modelo de línea de base energética utilizada, adicionalmente se disponen de los registros RG-26-EC-01 Modelos de Líneas de Base Energéticas donde se compilan los datos utilizados y los gráficos de los diferentes modelos de líneas de base, y el RG-26-EC-02 Proyección y seguimiento del consumo eléctrico que contempla los gráficos de seguimiento del comportamiento del desempeño energético de la organización en función de los resultados obtenidos con las líneas de base.

Las líneas de base se implementaron con el análisis de los datos disponibles en el periodo 2004 - 2012, lo que permitió todo el análisis de regresión correspondiente.

El Representante de la Dirección y los miembros del Equipo de Gestión de la Energía revisarán las variaciones de desempeño energético producidos en comparación con la línea base en reuniones periódicas, información que deberá ser registrada en una minuta de revisión energética del EGE<sup>48</sup>, adicionalmente se establecerá el funcionamiento y viabilidad económica de los medios identificados de control de medidas destinadas a establecer la mejora en el desempeño y eficiencia energética.

#### **5.7.1. Modelo 1 relación consumo eléctrico vs producción de fluido**

Este es un modelo directo y relaciona el comportamiento del consumo de energía eléctrica en el proceso en función de la producción de fluido que están levantando y procesando las instalaciones del proceso.

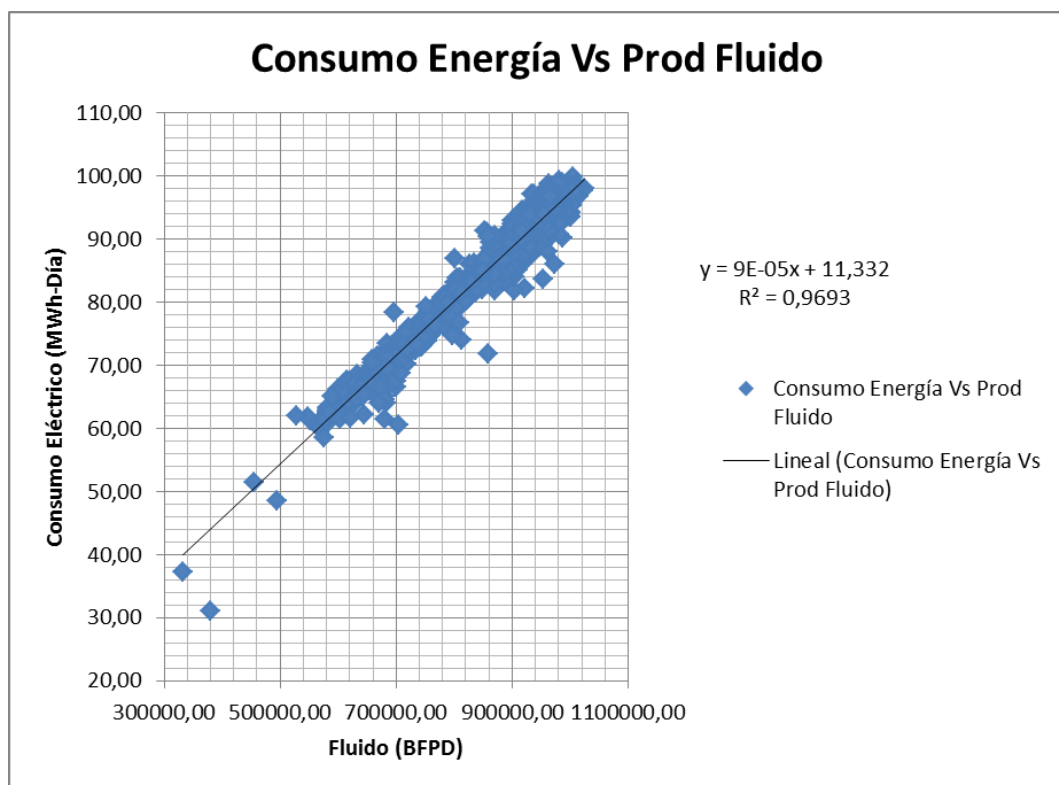
---

<sup>48</sup> EGE.- Equipo de Gestión de la Energía

Para aplicar este modelo, se requieren los datos de producción de fluido y de consumo eléctrico del período que se estime analizar y se aplica el modelo de regresión<sup>49</sup> de datos que se ajuste mejor a los datos reales.

En el anexo RG-26-EC-01 Modelos de líneas de base energéticas se presenta el modelo de matriz de datos que se debe utilizar para realizar la regresión y determinación del modelo.

A continuación se presenta el modelo mencionado utilizando datos diarios del período enero 2004 – marzo 2014:



**Figura 5.1 Modelo de línea base 1 período enero 2004 – marzo 2014**

De la regresión de datos realizada se obtiene un 0,9693 de coeficiente de correlación muestral  $R^{50}$ , valor muy cercano a uno, es decir representa un buen modelo al conjunto de datos.

<sup>49</sup> Para obtener la regresión de datos se utilizó Excel (2010) “Herramientas - Análisis de datos - Regresión - Ayuda. Microsoft”.

<sup>50</sup> Coeficiente de correlación  $r$  de Pearson.- Medida numérica y grado de correlación lineal entre variable cuantitativas que toman valores entre -1 y +1. Los valores cercanos a +1 indican asociación o correlación positiva fuerte y cercanos a -1 una asociación o correlación negativa fuerte. Los valores cercanos a cero indican no asociación o correlación

El coeficiente de correlación del modelo 1 es menor en comparación con los modelos 2 y 3 propuestos más adelante.

La energía no asociada<sup>51</sup> que se tiene en la regresión realizada es de 11332 MWh-día, esto se debe a la magnetización de los transformadores de potencia, potencia reactiva de los generadores eléctricos, es decir bajo rendimiento, limitaciones tecnológicas y modos de operación de los equipos.

Con la ecuación encontrada para  $y$  (de la regresión de datos realizada), podemos predecir y comprobar el consumo eléctrico en forma directa, ya que solo se requiere conocer la producción de fluido. A continuación se presentan la comparación entre los datos calculados y los reales en el período enero 2004 – marzo 2014:

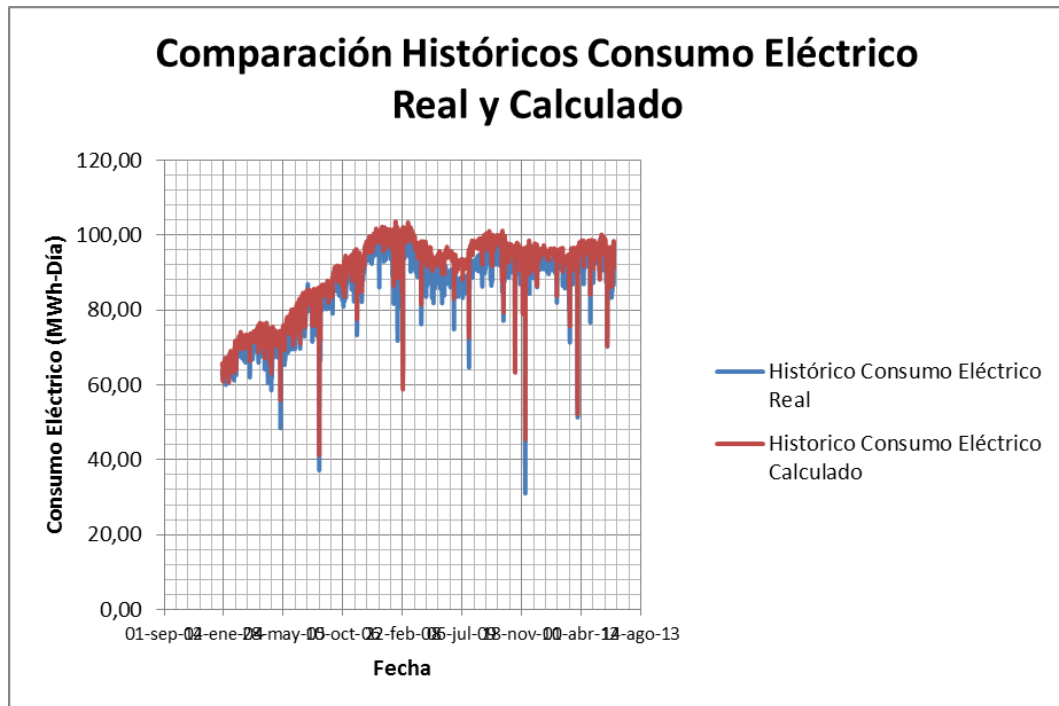
---

<sup>51</sup> La energía no asociada al proceso productivo en una empresa puede ser: iluminación de plantas, electricidad para equipos de oficinas, ventilación; áreas acondicionadas tanto de calefacción como de frío, energía usada en servicios de mantenimiento; trabajo en vacío de equipos eléctricos o térmicos; energía perdida en salideras de vapor, aire comprimido, etc.; pérdidas por radiación y corrección en calderas; precalentamiento de equipos y sistemas de tuberías; pérdidas de electricidad por potencia reactiva.

**Tabla 5.1 Matriz de cálculo modelo 1 de línea base RG-26-EC-01 modelos de líneas base energéticas**

<b>Matriz de datos requeridos para línea base general</b>							
<b>Día</b>	<b>Producción (BPD)</b>		<b>Inyección agua(BPD)</b>	<b>Crudo delivery (BPD)</b>	<b>Energía consumida (MWh-Día)</b>	<b>Consumo eléctrico calculado (MWh-Día)</b>	<b>Error (%)</b>
	<b>Crudo</b>	<b>Fluido</b>					
01-ene-04	53889,00	599344,00	545820,00	52449,00	63,53	65,27	2,74
02-ene-04	54156,00	604168,00	550587,00	51752,00	63,87	65,71	2,87
03-ene-04	53087,00	599426,00	540804,00	51241,00	62,44	65,28	4,55
04-ene-04	53158,00	597348,00	549360,00	51156,00	63,41	65,09	2,65
05-ene-04	53257,00	600822,00	543909,00	50749,00	62,68	65,40	4,35
06-ene-04	50561,00	572565,00	517015,00	48195,00	61,46	62,86	2,28
07-ene-04	53022,00	596195,00	542784,00	50219,00	63,20	64,99	2,83
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
24-mar-14	41317,00	915929,00	875710,00	38752,00	90,07	93,76	4,10
25-mar-14	41362,00	915579,00	868297,00	38374,00	91,34	93,73	2,62
26-mar-14	41013,00	931494,00	899649,00	36831,00	93,59	95,16	1,68
27-mar-14	40537,00	950254,00	893243,00	38151,00	92,90	96,85	4,25
28-mar-14	37045,00	884440,00	854258,00	33447,00	86,69	90,93	4,89
29-mar-14	40560,00	966461,00	931897,00	36950,00	96,69	98,31	1,68
30-mar-14	41202,00	956358,00	904805,00	36896,00	93,79	97,40	3,85
31-mar-14	41530,00	965076,00	944297,00	38119,00	96,81	98,19	1,42
<b>Media</b>	<b>51167,79</b>	<b>875266,06</b>	<b>824362,93</b>	<b>48168,94</b>	<b>86,58</b>	<b>90,10</b>	<b>4,13</b>

De acuerdo a la tabla 5.1 tenemos un porcentaje de error promedio de 4,13% un valor alto en comparación con los modelos 2 y 3 propuestos más adelante.



**Figura 5.2 Comparación de consumo eléctrico calculado por el modelo 1 con datos reales del período enero 2004 – marzo 2014**

De la tabla 5.1 y la figura 5.2 tenemos que la máxima producción de crudo obtenida en el Bloque 16 en el periodo 2004 a marzo 2014 fue de 70294 BPD el 21 de agosto del 2007, la producción más baja fue el 18 de diciembre del 2010 con una producción de crudo de 25203 BPD, esto debido a una parada de la planta de generación a crudo (potencia 42 MW) por la interconexión de barra de 480 V trabajo empezado a la 6H25 am por el personal del departamento eléctrico y reanudando las operaciones a las 21H50<sup>52</sup>, de igual manera en este día se dio pico mínimo de consumo de energía eléctrica (31.15 MWh-día), el pico máximo de consumo de energía eléctrica fue de 99,75 MWh-día el 16 de julio del 2007 con una producción de crudo de 64537 BPD, el consumo promedio de energía eléctrica en el lapso de tiempo mencionado fue de 86,59 MWh-día y la producción de crudo promedio de 51166 BPD. Se observa que el consumo

<sup>52</sup> Detalle tomado del reporte diario de generación a crudo del Bloque 16, el 19 de diciembre del 2010.

eléctrico se incrementó año a año debido al aumento de flujo de agua por ende mayor fluido de inyección (bombas de inyección).

Así mismo, se puede realizar la proyección del consumo eléctrico a futuro, para lo cual es necesario utilizar los datos de producción de fluido que brinda el Forecast de producción.

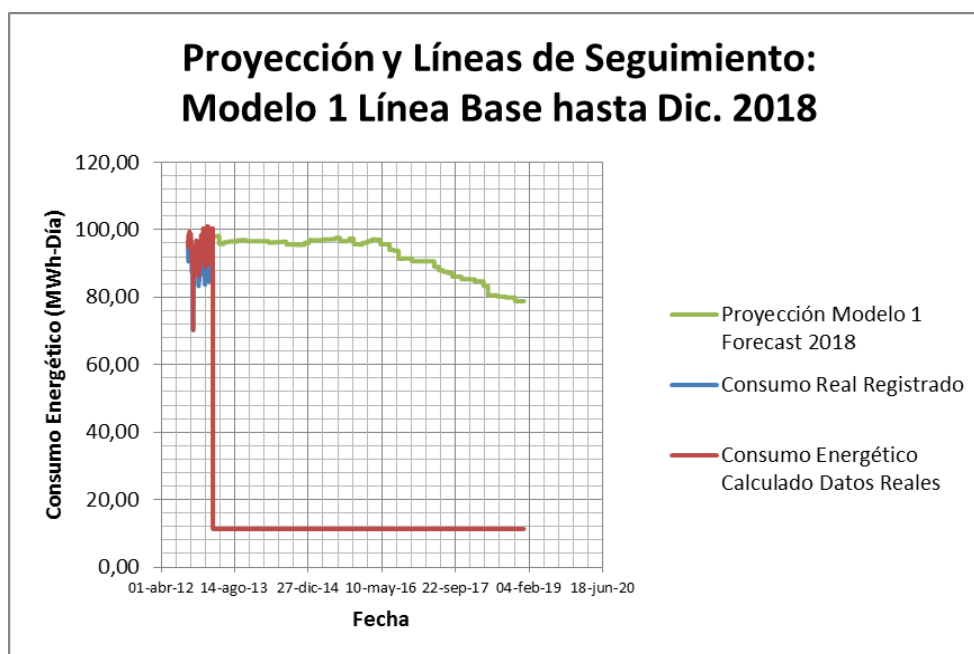
En el anexo RG-26-EC-02 Proyección 2018 y seguimiento del consumo eléctrico se presenta la matriz de cálculo y la respectiva proyección de consumo eléctrico a diciembre de 2018 en base a este modelo, incluyendo una comparación con los datos reales registrados en los meses de enero a marzo del 2014 y los consumos eléctricos calculados a partir de datos reales con los datos de octubre del 2012 a marzo del 2014:

**Tabla 5.2 Matriz de datos proyección de línea base modelo 1 RG-26-02 proyección modelos de línea base**

<b>Matriz comprobación modelos de línea base</b>											
	<b>Forecast</b>			<b>Datos reales registrados</b>				<b>Relación producción fluido vs consumo de energía</b>			
<b>Día</b>	<b>Producción (BPD)</b>			<b>Producción (BPD)</b>			<b>Consumo real energía (MWh-Día)</b>	<b>Energía consumida calc. forecast (MWh-Día)</b>	<b>Error referido al consumo real (%)</b>	<b>Energía consumida calc. datos reales (MWh-Día)</b>	<b>Error referido al consumo real (%)</b>
	<b>Crudo</b>	<b>Agua</b>	<b>Fluido</b>	<b>Crudo</b>	<b>Agua</b>	<b>Fluido</b>					

Datos calculados a partir de la ecuación del modelo.





**Figura 5.3 Proyección y líneas de seguimiento: modelo 1 línea base hasta diciembre 2018**

**Tabla 5.3 Ventajas, desventajas modelo 1 línea base**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
No requiere un tratamiento complejo de datos.	La información mostrada es muy general, es decir, no indica su comportamiento con las variables de proceso.
La información requerida está disponible y es fácil de conseguir.	No se observa claramente la relación del desempeño energético con las variables de proceso.
El modelo entrega información general del comportamiento del uso de la energía con las actividades del período analizado.	No se puede extrapolar resultados a futuro en función de las variaciones de las variables de proceso.

### 5.7.2. Modelo 2 de variables específicas

Este modelo es indirecto, evalúa el consumo específico de energía total del bloque versus la relación crudo producido / fluido levantado de un período analizado.

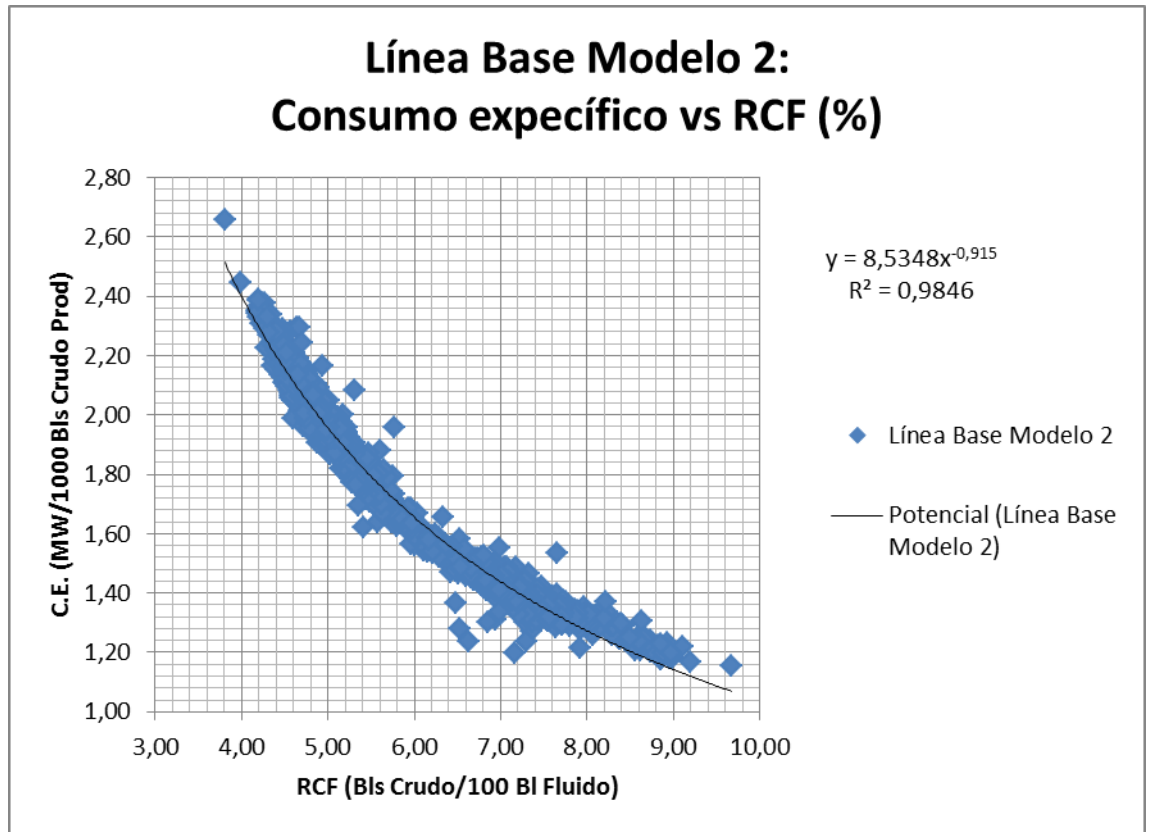
Para realizar los gráficos de este modelo, se utilizaron los datos diarios de producción de agua, crudo y de generación de energía eléctrica del período enero 2004 – marzo 2014.

En el anexo RG-26-EC-01 modelos de líneas de base energéticas se muestra la matriz de cálculo que se debe elaborar para posteriormente realizar la regresión y determinar la ecuación del modelo.

**Tabla 5.4 Matriz de datos y cálculo línea base modelo 2 RG-26-EC-01 modelos de líneas base energéticas**

Matriz de datos requeridos para línea base general										
Día	Producción (BPD)		Inyección agua(BPD)	Crudo delivery (BPD)	Energía consumida (MW-Día)	RCF (Bls crudo/100 Bls fluido)	Consumo específico (MW/1000 Bls crudo prod.)	Consumo específico calculado (MW/1000Bls crudo)	Consumo eléctrico calculado (MWh-Día)	Error (%)
	Crudo	Fluido								
01-ene-04	53889,00	599344,00	545820,00	52449,00	63,53	8,99	1,18	1,16	62,33	1,89
02-ene-04	54156,00	604168,00	550587,00	51752,00	63,87	8,96	1,18	1,16	62,81	1,66
03-ene-04	53087,00	599426,00	540804,00	51241,00	62,44	8,86	1,18	1,17	62,25	0,30
04-ene-04	53158,00	597348,00	549360,00	51156,00	63,41	8,90	1,19	1,17	62,06	2,13
05-ene-04	53257,00	600822,00	543909,00	50749,00	62,68	8,86	1,18	1,17	62,40	0,44
06-ene-04	50561,00	572565,00	517015,00	48195,00	61,46	8,83	1,22	1,18	59,45	3,28
07-ene-04	53022,00	596195,00	542784,00	50219,00	63,20	8,89	1,19	1,17	61,94	2,00
08-ene-04	50216,00	551180,00	508589,00	48454,00	61,28	9,11	1,22	1,14	57,39	6,35
09-ene-04	52177,00	588214,00	535306,00	50421,00	62,67	8,87	1,20	1,17	61,09	2,51
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
23-mar-14	41306,00	917975,00	883454,00	38290,00	92,27	4,50	2,23	2,17	89,70	2,79
24-mar-14	41317,00	915929,00	875710,00	38752,00	90,07	4,51	2,18	2,17	89,52	0,62
25-mar-14	41362,00	915579,00	868297,00	38374,00	91,34	4,52	2,21	2,16	89,49	2,02
26-mar-14	41013,00	931494,00	899649,00	36831,00	93,59	4,40	2,28	2,21	90,84	2,94
27-mar-14	40537,00	950254,00	893243,00	38151,00	92,90	4,27	2,29	2,28	92,40	0,53
28-mar-14	37045,00	884440,00	854258,00	33447,00	86,69	4,19	2,34	2,32	85,86	0,95
29-mar-14	40560,00	966461,00	931897,00	36950,00	96,69	4,20	2,38	2,31	93,84	2,95
30-mar-14	41202,00	956358,00	904805,00	36896,00	93,79	4,31	2,28	2,26	93,08	0,76
31-mar-14	41530,00	965076,00	944297,00	38119,00	96,81	4,30	2,33	2,26	93,92	2,99
<b>Media</b>	<b>51167,79</b>	<b>875266,06</b>	<b>824362,93</b>	<b>48168,94</b>	<b>86,58</b>	<b>5,96</b>	<b>1,73</b>	<b>1,74</b>	<b>87,43</b>	<b>1,92</b>

De acuerdo a la tabla 5.4 tenemos un porcentaje de error promedio de 1.92%, valor intermedio en comparación con los modelos 1 y 3 propuestos en este proyecto.



**Figura 5.4 Línea base modelo 2, período enero 2004 – marzo 2014**

De la regresión de datos realizada se obtuvo un valor de 0.9846 de coeficiente de correlación muestral R, valor muy cercano a uno, es decir un buen modelo al conjunto de datos, este valor es el más cercano a uno en comparación con los modelos 1 y 3 propuestos en este proyecto.

Para realizar la línea base del modelo, se requiere tomar la información de producción de fluido, crudo y el consumo eléctrico de un período determinado.

Este gráfico es de carácter intensivo, es decir, no depende de los flujos de proceso, sino de las condiciones operativas y del estado de los equipos de proceso (desempeño energético).

De acuerdo a la regresión realizada, el modelo es de la forma:

$$CE = A * (RCF)^B \tag{8}$$

Dónde: CE = Consumo específico de energía referido a la producción de crudo (MWh-Día /1000 Bls Crudo).

A = Variable de desempeño energético del sistema.

RCF = Relación de flujo volumétrico de crudo producido versus el flujo volumétrico de fluido levantado en el mismo período de tiempo, expresado como porcentaje. Se lo determina de la siguiente forma:

$$RCF = \frac{\text{Crudo Producido}}{\text{Fluido Levantado}} * 100 \quad (9)$$

Esta relación puede expresarse como el complemento del BSW del fluido:

$$RCF = 100 - BSW_{Prod} \quad (10)$$

B = Variable de ajuste, la cual explica la tendencia entre la variación de RCF con el consumo específico del sistema.

Con los datos recopilados y realizando la regresión usando el modelo de “Potencia”, se tiene la siguiente ecuación:

$$CE = 8.534 * (RCF)^{-0.91} \quad (11)$$

### **Gráfico de consumo energético.**

Este gráfico se obtiene a partir del resultado de la relación anterior - Consumo Específico (CE).

De la siguiente forma:

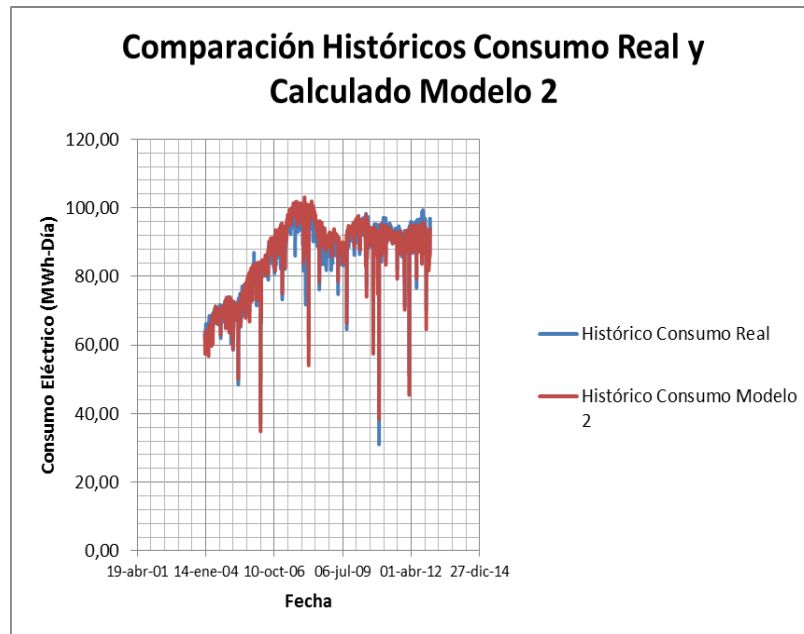
$$EG = \frac{CE * (\text{Flujo Crudo})}{1000} \quad (12)$$

Dónde: EG = Energía consumida en el bloque (MWh-Día)

Para este caso se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se calcula el RCF con los datos de producción del día, para luego reemplazarlo en la ecuación del modelo.
- El límite del análisis del sistema es la capacidad instalada de generación en el bloque.

De esta forma, se obtiene lo siguiente comparación entre los datos reales y los calculados por el modelo en el período enero 2004 – marzo 2014.



**Figura 5.5 Comparación de consumo eléctrico calculado por el modelo 2 con datos reales del período enero 2004 – marzo 2014**

Así mismo, se puede realizar la proyección del consumo eléctrico a futuro, para lo cual es necesario utilizar los datos que brinda el Forecast de producción con respecto a la producción de fluido y de crudo. A continuación se presenta la matriz de la proyección de consumo eléctrico a diciembre de 2018 en base a este modelo y su representación gráfica respectiva.

De la misma forma en el anexo RG-26-EC-02 Proyección 2018 y seguimiento del consumo eléctrico se muestra la comparación entre el consumo real registrado entre los meses de enero a marzo de 2014, el consumo real calculado a partir de los datos de octubre 2012 a marzo 2014 y los datos de la proyección realizada.

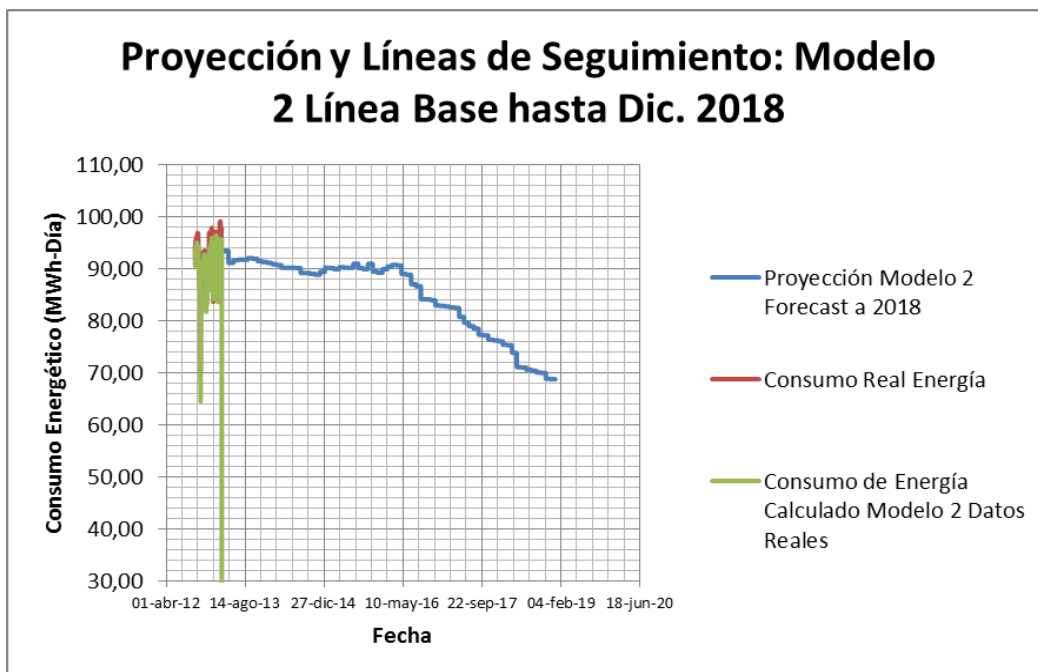
**Tabla 5.5 Matriz de datos y cálculo proyección línea base modelo 2 RG-26-02 proyección modelos de línea base**

Matriz comprobación modelos de línea base									
	Forecast				Datos reales registrados				
Día	Producción (BPD)				Producción (BPD)				
	Crudo	Fluido	Inyección agua (BPD)	Crudo delivery (BPD)	Crudo	Fluido	Inyección agua (BPD)	Crudo delivery (BPD)	Consumo real de energía (MWh-Día)

Continuación Tabla 5.5:

Matriz comprobación modelos de línea base							
Modelo 2							
Forecast				Datos reales registrados			
RCF (Bls crudo/100 Bls fluido)	Consumo específico (MW/1000 Bls crudo prod.)	Energía consumida calc. (MWh-Día)	Error (%)	RCF (Bls crudo/100 Bls fluido)	Consumo específico (MW/1000 Bls crudo prod.)	Energía consumida calc. (MWh-Día)	Error (%)

Dato Calculado con las ecuaciones del modelo



**Figura 5.6 Proyección y líneas de seguimiento: modelo 2 línea base hasta diciembre 2018**

**Tabla 5.6 Ventajas, desventajas modelo 2 línea base**

Ventajas	Desventajas
Representa mejor el comportamiento real de las variables analizadas.	El tratamiento de la información del modelo no es directo.
Se puede analizar de forma más completa la relación de las variables de desempeño energético del sistema.	Se requiere datos de alta confiabilidad.
Se puede extrapolar resultados a futuro.	
Se pueden realizar gráficos con diferentes variables de proceso, de acuerdo al interés de cada área.	

### 5.7.3. Modelo 3 base multi-variante (sistemas usuarios y consumidores de energía eléctrica)

Este modelo calcula el consumo eléctrico del proceso en función del flujo que maneja cada uno de los sistemas del Bloque 16.

Este modelo tiene la siguiente forma:



$$CEL = A + B * (Fluido) + C * (Crudo Delivery) + D * (Agua) \quad (13)$$

Dónde:

CEL =	Consumo eléctrico diario (MWh-Día).
Fluido =	Flujo de fluido levantado (BFPD).
Crudo delivery =	Flujo de crudo bombeado (BPD).
Agua =	Flujo de agua inyectada (BWPD).
A, B, C, D =	Coefficientes de desempeño energético específico a cada sistema.

En el anexo RG-26-EC-01 Modelos de líneas de base energéticas se presenta la matriz de datos que se debe llenar para realizar la regresión múltiple como exige el modelo.

**Tabla 5.7 Matriz de datos línea base modelo 3 RG-26-EC-01 modelos de líneas base energéticas**

Matriz de datos requeridos para línea base general							
Día	Producción (BPD)		Inyección agua (BPD)	Crudo delivery (BPD)	Energía consumida (MW-Día)	Energía consumida calculada (MW-Día)	Error (%)
	Crudo	Fluido					
01-ene-04	53889,00	599344,00	545820,00	52449,00	63,53	63,03	0,78
02-ene-04	54156,00	604168,00	550587,00	51752,00	63,87	63,39	0,76
03-ene-04	53087,00	599426,00	540804,00	51241,00	62,44	62,72	0,45
04-ene-04	53158,00	597348,00	549360,00	51156,00	63,41	62,99	0,66
05-ene-04	53257,00	600822,00	543909,00	50749,00	62,68	62,87	0,30
06-ene-04	50561,00	572565,00	517015,00	48195,00	61,46	60,27	1,93
07-ene-04	53022,00	596195,00	542784,00	50219,00	63,20	62,58	0,99
08-ene-04	50216,00	551180,00	508589,00	48454,00	61,28	59,01	3,70
09-ene-04	52177,00	588214,00	535306,00	50421,00	62,67	61,93	1,19
10-ene-04	52757,00	603292,00	554504,00	50283,00	63,53	63,39	0,22
:	:	:	:	:	:	:	:
23-mar-14	41306,00	917975,00	883454,00	38290,00	92,27	90,13	2,32
24-mar-14	41317,00	915929,00	875710,00	38752,00	90,07	89,75	0,36
25-mar-14	41362,00	915579,00	868297,00	38374,00	91,34	89,38	2,14
26-mar-14	41013,00	931494,00	899649,00	36831,00	93,59	91,29	2,46
27-mar-14	40537,00	950254,00	893243,00	38151,00	92,90	91,94	1,04
28-mar-14	37045,00	884440,00	854258,00	33447,00	86,69	87,02	0,37
29-mar-14	40560,00	966461,00	931897,00	36950,00	96,69	94,20	2,58
30-mar-14	41202,00	956358,00	904805,00	36896,00	93,79	92,59	1,28
31-mar-14	41530,00	965076,00	944297,00	38119,00	96,81	94,77	2,11
<b>Media</b>	<b>51167,79</b>	<b>875266,06</b>	<b>824362,93</b>	<b>48168,94</b>	<b>86,58</b>	<b>86,58</b>	<b>1,38</b>

De acuerdo a la tabla 5.7 tenemos un porcentaje de error promedio de 1.38% es el valor más bajo en comparación con los modelos 1 y 3 propuestos anteriormente.

Para determinar la ecuación de este modelo, se realizó la regresión múltiple lineal del consumo eléctrico como variable dependiente versus la producción de fluido, la inyección de agua y el crudo delivery como variables independientes.

A partir de los datos recopilados del período enero 2004 – marzo 2014, se realizó la regresión múltiple, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 5.8 Resultados regresión múltiple modelo 3**

<b>Parámetros de la ecuación</b>	
Coefficiente de correlación muestral R	0.9735
Error estándar	1.5679
<b>Constantes de la ecuación de regresión múltiple</b>	
Coefficiente de intercepción	9.201
Coefficiente de fluido	0.00004327
Coefficiente de inyección Agua	0.00004298
Coefficiente de crudo delivery	0.00008464

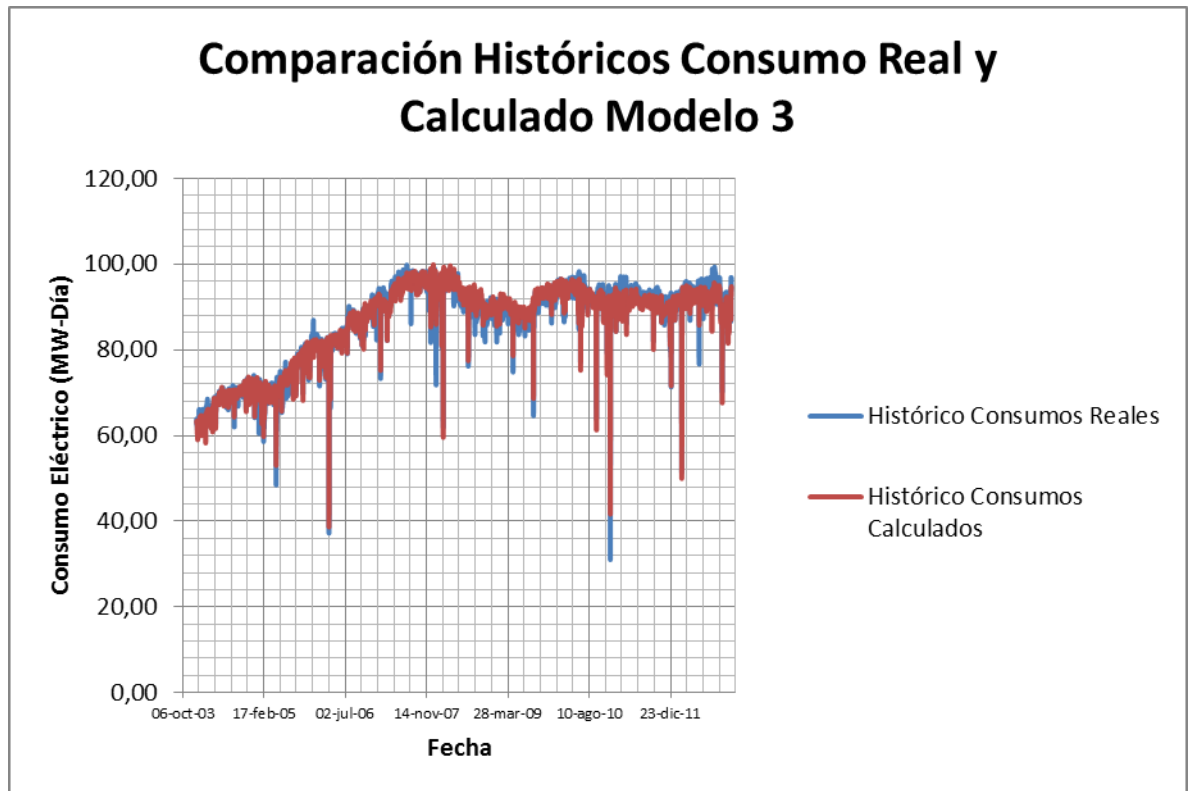
De la regresión de datos realizada se obtiene un 0.9735 de coeficiente de correlación muestral R, valor muy cercano a uno, es decir representa un buen modelo al conjunto de datos, este es valor es intermedio en comparación con los valores de los modelos 1 y 3.

El modelo queda definido de la siguiente forma:

$$CEL = 9.201 + 0.000043 * (Fluido) + 0.000084 * (Crudo\ delivery) + 0.000043 * (Agua) \quad (14)$$

Cabe mencionar que la regresión múltiple puede realizarse en cualquier software de hoja de cálculo, lo único que se debe considerar son las limitaciones de tratamiento de datos del mismo.

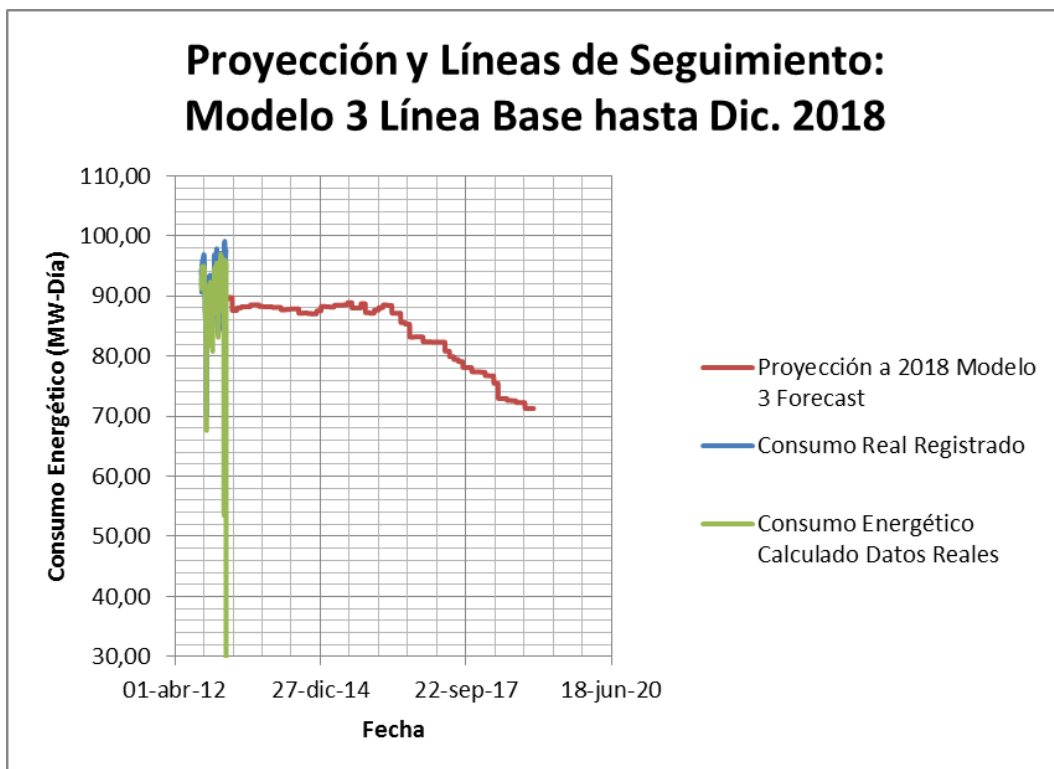
Posteriormente, se puede realizar la comparación entre los datos correspondientes al período enero 2004 – marzo 2014 y los consumos eléctricos calculados:



**Figura 5.7 Comparación de consumo eléctrico calculado por el modelo 3 con datos reales del período enero 2004 – marzo 2014**

De la misma manera, se puede realizar la proyección del consumo eléctrico a futuro, para lo cual es necesario utilizar los datos que brinda el Forecast de producción en las variables mencionadas. Se ha asumido que el crudo delivery y el agua de inyección son el 90% de las variables respectivas de producción correspondientes, es decir crudo y agua producida. A continuación se presenta la matriz de cálculo y el gráfico de la proyección de consumo eléctrico a diciembre de 2018 en base a este modelo.

Así mismo se compara la información obtenida con los datos reales obtenidos de enero a marzo 2014 y también con los consumos eléctricos calculados con datos reales como se indica en el anexo RG-26-EC-02 Proyección 2018 y seguimiento del consumo eléctrico.



**Figura 5.8 Proyección y líneas de seguimiento: modelo 3 línea base hasta diciembre 2018**

**Tabla 5.9 Ventajas, desventajas modelo 3 línea base**

Ventajas	Desventajas
Se puede analizar de forma específica el desempeño energético de los sistemas principales (Levantamiento Artificial, Inyección de Agua y Transporte de Crudo).	El tratamiento de la información del modelo no es directo.
Se puede extrapolar resultados a futuro.	Se requiere datos de alta confiabilidad.
Identificar cuál de los procesos analizados se encuentra con un menor desempeño energético, para toma de decisiones.	

#### 5.8. Limitaciones de los modelos de línea base

Aunque los modelos arrojan resultados cercanos a la realidad, existen desviaciones con los datos reales que deben considerarse en caso de que se requiera dar un estimado de consumo de energía. Estas desviaciones son más evidentes cuando existen cambios bruscos en el consumo de energía o de la producción (paradas de planta o de producción) que no toman períodos

prolongados de tiempo. Si no son eventos momentáneos, cada modelo se irá ajustando gradualmente a los datos reales sin presentar desviaciones significativas.

Otra desviación importante que se debe considerar es el caso de las proyecciones o líneas de seguimiento. Se debe tomar en cuenta que los modelos de Forecast poseen un error de predicción propio con respecto a los datos de producción que se generarán en el futuro. Este error se adiciona al de predicción de cada modelo de línea base, esto debe considerarse cuando se comparen los datos reales de consumo eléctrico con los pronosticados por la proyección.

Otro aspecto importante que se debe tomar en cuenta es que todos los modelos no consideran la fase libre de gas que se produce en campo y su uso, es decir, la producción de gas no influye en los resultados que generen los modelos desarrollados. Adicionalmente, los modelos no consideran las fuentes de energía eléctrica que se están usando. Estos modelos están enfocados principalmente a los procesos y sistemas consumidores de energía eléctrica, especialmente a aquellos que son significativos en el consumo de energía. Los resultados de la gestión energética se verán reflejados en los consumos eléctricos, mas no en la energía entregada por el sistema de generación eléctrica.

Finalmente, se debe tomar en cuenta que estos modelos son válidos para las condiciones actuales del proceso; es decir para el consumo y rendimiento actualizados de los equipos que conforman el proceso. En caso de que se realicen cambios considerables en el uso y consumo de la energía, los modelos de línea base deben ser reevaluados para determinar los nuevos coeficientes en cada modelo y ajustar la proyección o líneas de seguimiento.

## **5.9. Recurso material y humano**

**Recurso material:**

**Tabla 5.10 Presupuesto**

Ítem	Descripción	Valor (USD)
1	Material de oficina	300,00
2	Material bibliográfico	300,00
3	Transporte	100,00
4	Pagos a asesores y especialistas (curso)	600,00
5	Transporte aéreo y terrestre	1200,00
6	Imprevistos	200,00
	<b>Total:</b>	<b>2700,00</b>

**Recurso humano:**

**Tabla 5.11 Personal involucrado con su grado de responsabilidad**

Responsables de la implementación		
Área	Responsable	Actividad
Tesis	Carlos Germánico Muso Chango	Ejecución del proyecto de tesis
Representante de E-INPSA	Ing. Vicente Granda	Ejecución y asesoramiento de los modelos de líneas de base para la gestión energética de REPSOL
Jefe de Proyectos REPSOL	Ing. Edgar Delgado	Revisión final de los modelos de líneas de base para la gestión energética de REPSOL
Tutora de tesis	PhD. Iliana González Palau	Verifica el avance de la tesis de los modelos de líneas de base para la gestión energética de REPSOL
Apoyo tutor tesis	PhD. Secundino Marrero	Verifica el avance de la tesis de los modelos de líneas de base para la gestión energética de REPSOL

Elaborado por: Carlos Germánico Muso Chango

## **5.10. Evaluación económica**

### **5.10.1. Potencial de ahorro en el sistema de generación eléctrica del Bloque 16**

Para realizar el cálculo del potencial de ahorro en cada subsistema de generación eléctrica, se realiza por medio de la siguiente expresión:

$$P. \text{Ahorro} = E_{\text{Real}} * \frac{(\epsilon_{\text{Nom}} - \epsilon_{\text{Real}})}{100} \quad (15)$$

Dónde: P. Ahorro = Potencial de ahorro (MW-Día).

$E_{\text{Real}}$  = Energía real del combustible consumido (MWh-Día).

$\epsilon_{\text{Nom}}$  = Eficiencia real del subsistema de generación (%).

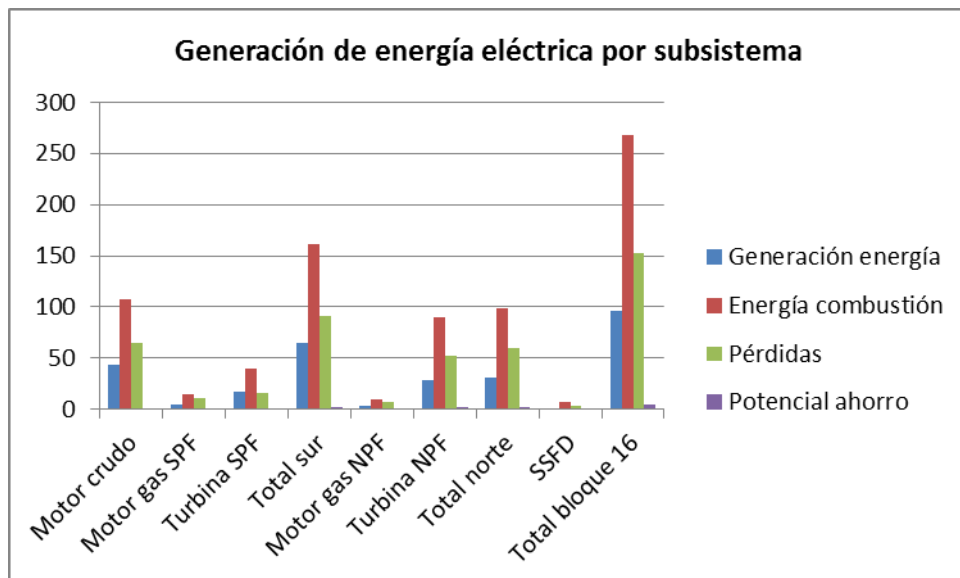
$\epsilon_{\text{Real}}$  = Eficiencia nominal del subsistema de generación medida en condiciones de sitio (%).

### Resultados del balance

Este balance se representa en la figura 5.9 en forma de barras por cada subsistema, donde se indica la energía generada por cada subsistema.

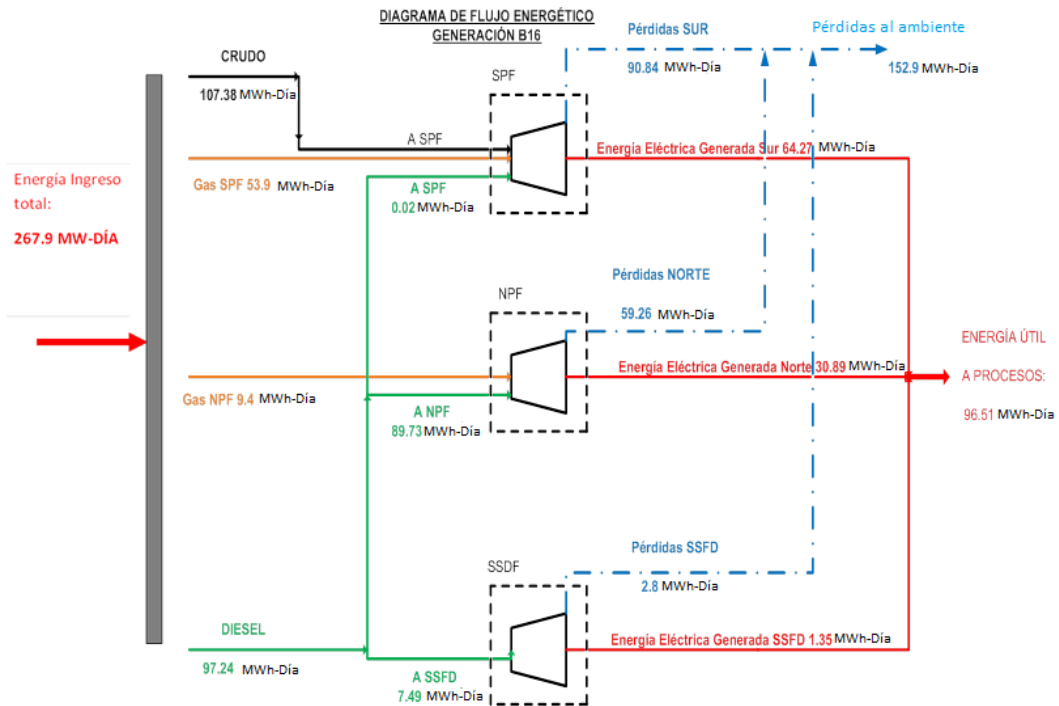
**Tabla 5.12 Balance energético sistema de generación de energía eléctrica**

Locación	Subsistema	MWh-Día			
		Generación energía	Energía combustión	Pérdidas	Potencial ahorro
Sur	Motor crudo	43,01	107,38	64,37	0,86
	Motor gas	4,01	14,46	10,45	0,24
	Turbina SPF	17,25	39,44	16,02	1,11
Total sur		64,27	161,28	90,84	2,22
Norte	Motor gas	2,84	9,40	6,56	0,08
	Turbina NPF	28,05	89,73	52,70	1,97
Total norte		30,89	99,13	59,26	2,05
SSFD	Turbina SSFD	1,35	7,49	2,80	0,13
Total Bloque 16		<b>96,51</b>	<b>267,90</b>	<b>152,90</b>	<b>4,39</b>



**Figura 5.9 Generación de energía eléctrica por subsistema**



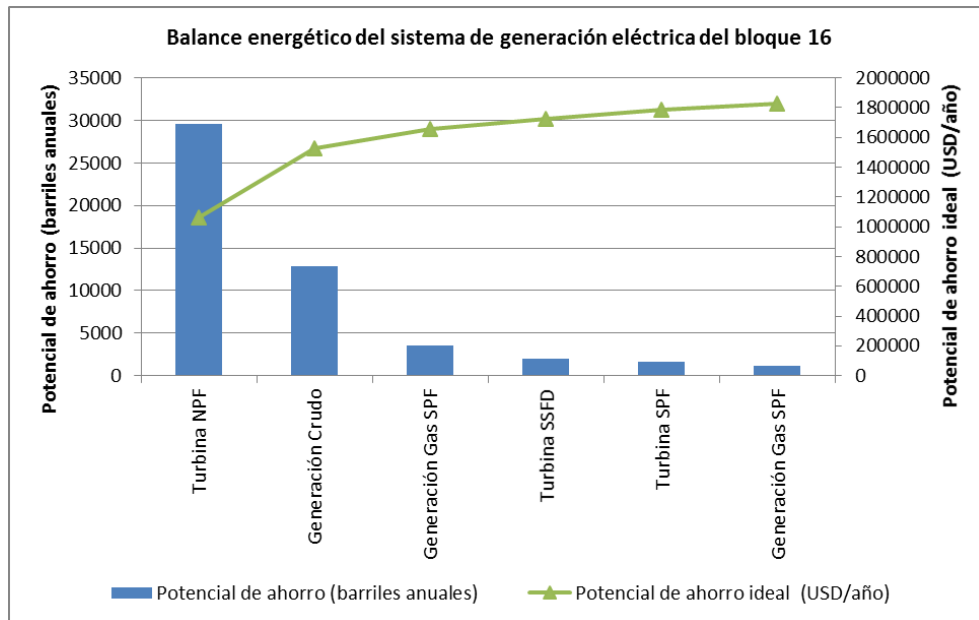


**Figura 5.10 Diagrama de flujo energético del sistema de generación eléctrica del Bloque 16**

En la tabla 5.13 se presenta la evaluación económica y el potencial ahorro ideal de energía por cada sistema, considerando que los generadores de energía pueden regresar a su eficiencia nominal, de lo cual se desprende la disminución potencial de emisiones de gases de efecto invernadero, de barriles de crudo y el ahorro económico con un valor promedio de 36 USD por barril pagado a REPSOL por el Gobierno Ecuatoriano, en el sistema de generación a gas se aprovecha casi el 100% del gas disponible en el Bloque 16 por lo que el potencial de ahorro de los generadores de gas y crudo son haciéndolos trabajar en sus curvas de operación para un máximo rendimiento, esto se lo puede hacer mediante un estudio minucioso de los componentes del volumen del gas que tienen componentes de poder calorífico de mezcla, los valores de potencial de ahorro se puede visualizar en la tabla siguiente:

**Tabla 5.13 Potencia de ahorro sistema de generación eléctrica del Bloque 16**

Sistema	Área	Locación / subsistema	Potencial de ahorro ideal (MWh-Día)	Potencial de ahorro (barriles anuales)	Potencial de disminución emisiones CO2 (Ton CO2 anuales)	Potencial de ahorro ideal (USD/año)
Generación eléctrica	Sur	Generación crudo	0,86	12893,29	1684,47	\$464,158,38
		Generación gas	0,24	3598,13	470,08	\$129,532,57
		Turbina SPF	0,11	1649,14	215,46	\$59,369,10
	Norte	Generación gas	0,08	1199,38	156,69	\$43,177,52
		Turbina NPF	1,97	29534,63	3858,61	\$1,063,246,53
	SSFD	Turbina SSFD	0,13	1948,99	254,63	\$70,163,48
	<b>Total</b>			<b>3,39</b>	<b>50823,56</b>	<b>6639,94</b>



**Figura 5.11 Balance energético del sistema de generación eléctrica del Bloque 16**

### 5.10.2. Potencial de ahorro en el sistema de producción de petróleo del Bloque 16

Para realizar el cálculo del potencial de ahorro, en la operación de las bombas se realiza por la siguiente expresión:

$$P. \text{ ahorro} = \text{consumo energía} * (\epsilon_{\text{Nom}} - \epsilon_{\text{Real}} / 100) \quad (16)$$

Dónde: P. ahorro = Potencial de ahorro (MWh-Día).  
 $\epsilon_{\text{Real}}$  = Eficiencia real del equipo (%).  
 $\epsilon_{\text{Nom}}$  = Eficiencia nominal media de los equipos (%).

A continuación se presentan los resultados del balance de energía en usos y consumos específicos.

### 5.10.3. Potencial de ahorro del sistema de levantamiento artificial

Para el análisis, los datos utilizados fueron los recabados en la medición puntual periódica de campo de variables operativas, realizada del 23 al 26 de agosto del 2012.

#### Consideraciones del cálculo:

Para el cálculo, se han tomado las consideraciones siguientes:

- Por tratarse de una medición puntual, se asumen que las lecturas permanecieron constantes durante la medición
- Se calculó el consumo de energía eléctrica a partir de datos de voltaje y de corriente eléctrica disponibles en el reporte.
- Se asumió que los pozos tienen a una profundidad promedio de 6100 ft (2000 metros), desde la bomba al cabezal de superficie.
- Se asumió que los tubing de cada pozo poseen un diámetro de 4,5 in (102 mm) si éste transporta un flujo de fluido mayor a 6200 BFPD. Para los demás pozos, se tomó como diámetro de tubing como 3,5 in (79 mm).
- Se asume que las propiedades del fluido son próximas a las del agua.
- No se considera la fase gas en el cálculo.
- Para el cálculo de las pérdidas de fricción, se utilizó el modelo de Hanzen – William.
- Se calculó la eficiencia de cada equipo como conjunto motor – bomba, es decir que también se considera las pérdidas de energía eléctrica resultantes en el rendimiento del motor.

- No se detallan en este análisis las pérdidas de energía eléctrica que pueden presentarse en el transporte de esta energía por el cable, desde el punto de medición en superficie hasta el motor de fondo.
- Las restantes variables de operación de los equipos, como son: presiones y caudales, se han recopilado del informe TOW<sup>53</sup> correspondientes a los días de análisis.

Se utiliza la metodología explicativa para el cálculo de eficiencias de los equipos de este sistema.

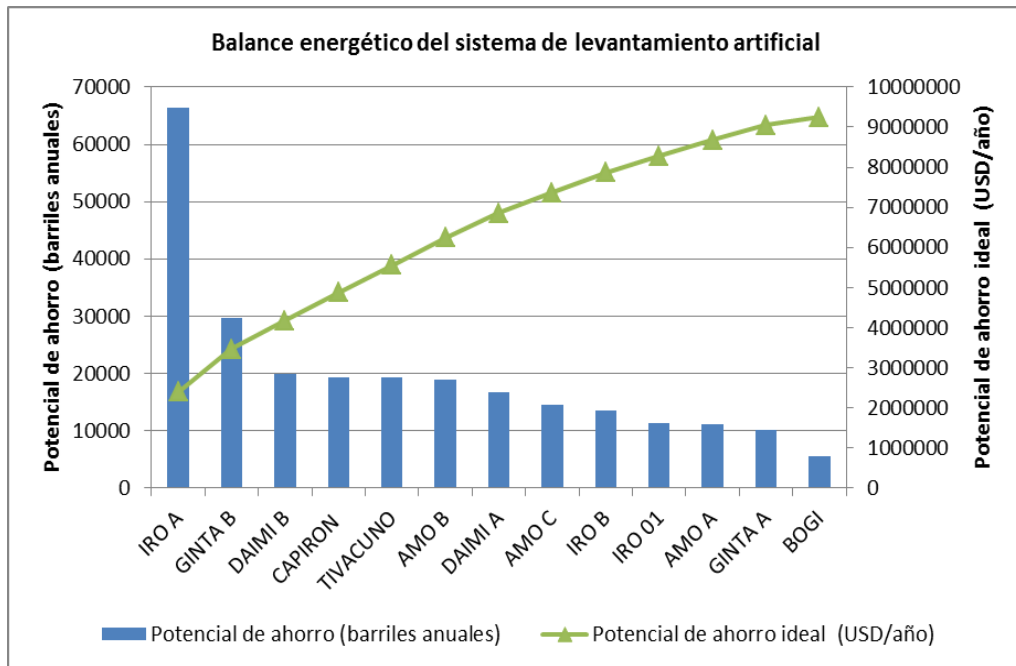
En la tabla 5.14 y figura 5.12 permite observar los resultados de consumo, eficiencia y potenciales de ahorro, por locación donde se disponen equipos de este sistema. Los potenciales de ahorro han sido definidos en comparación a una eficiencia nominal promedio del 60% por las características del sistema operacional del motor y la bomba.

---

<sup>53</sup> TOW.- Total Oil Workstation “Estación de trabajo total de petróleo”

**Tabla 5.14 Potencia de ahorro sistema de levantamiento artificial del Bloque 16**

Sistema	Área	Locación	Consumo (MWh-Día)	Eficiencia media (%)	Trabajo realizado (MWh-Día)	Pérdidas totales (MWh-Día)	Potencial de ahorro ideal (MWh-Día)	Potencial de ahorro (barriles anuales)	Potencial de ahorro (Ton CO2 anuales)	Potencial de ahorro ideal (USD/año)
Levantamiento artificial	Sur	IRO A	12,47	24,48	3,05	9,42	4,43	66406,07	8675,74	\$2390618,37
		GINTA B	5,94	26,66	1,58	4,36	1,98	29705,90	3880,98	\$1069412,41
		DAIMI B	3,84	25,54	0,98	2,86	1,32	19847,26	2592,98	\$714501,30
		DAIMI A	3,23	25,34	0,82	2,41	1,12	16776,66	2191,82	\$603959,88
		AMO C	3,22	29,72	0,96	2,26	0,98	14618,55	1909,87	\$526267,74
		AMO B	3,13	19,65	0,62	2,51	1,26	18934,27	2473,70	\$681633,67
		AMO A	2,92	34,40	1,01	1,92	0,75	11225,89	1466,63	\$404131,92
		IRO B	2,49	23,49	0,58	1,90	0,91	13618,16	1779,17	\$490253,86
		IRO 01	2,00	22,19	0,44	1,55	0,76	11327,56	1479,91	\$407792,03
	GINTA A	1,88	23,85	0,45	1,43	0,68	10172,45	1329,00	\$366208,07	
	Norte	CAPIRON	3,77	25,91	0,98	2,80	1,29	19281,01	2519,00	\$694116,54
		TIVACUNO	3,68	25,09	0,92	2,76	1,29	19272,92	2517,95	\$693825,22
		BOGI	1,30	31,01	0,40	0,89	0,38	5632,43	735,86	\$202767,56
			TOTAL	49,87	25,95	12,79	37,08	17,13	256819,13	33552,61



**Figura 5.12 Balance energético del sistema de levantamiento artificial**

#### 5.10.4. Potencial de ahorro del sistema de inyección de agua de formación

##### Consideraciones del cálculo:

Para el cálculo del desempeño energético de las bombas del sistema de inyección de agua, se tomaron las consideraciones siguientes:

- Los datos corresponden al mismo período en el que se realizó el recorrido de medición de energía eléctrica de las bombas electrosumergibles.
- El caudal de operación de las bombas, se lo calculó en función de la cantidad total de agua que se inyecta en los pozos alineados al equipo.
- Esto se realiza en sistemas que la configuración de montaje de las bombas están en paralelo.
- Se asume que no existe flujo preferencial en ninguna bomba en particular del agrupamiento.
- En los sistemas de bombas dispuestas en paralelo donde no se disponen de datos reales específicos por cada equipo, se ha procedido a analizar como un conjunto, en donde se suman tanto consumos reales como datos de placa, y con esta información determinar el desempeño energético.

- Los consumos eléctricos de las todas las bombas del sistema de inyección de agua de sector norte NPF son datos nominales, así como para las bombas booster de inyección de agua del SPF.
- En los equipos que no poseen medidores de presión en la succión y descarga, tal es el caso de las bombas booster de NPF y SPF, se asume que este valor es igual al cabezal correspondiente.
- El cálculo del potencial de ahorro se realizó en base a la eficiencia nominal promedio de equipos de bombeo de 75% de acuerdo al sistema operacional del motor y la bomba.

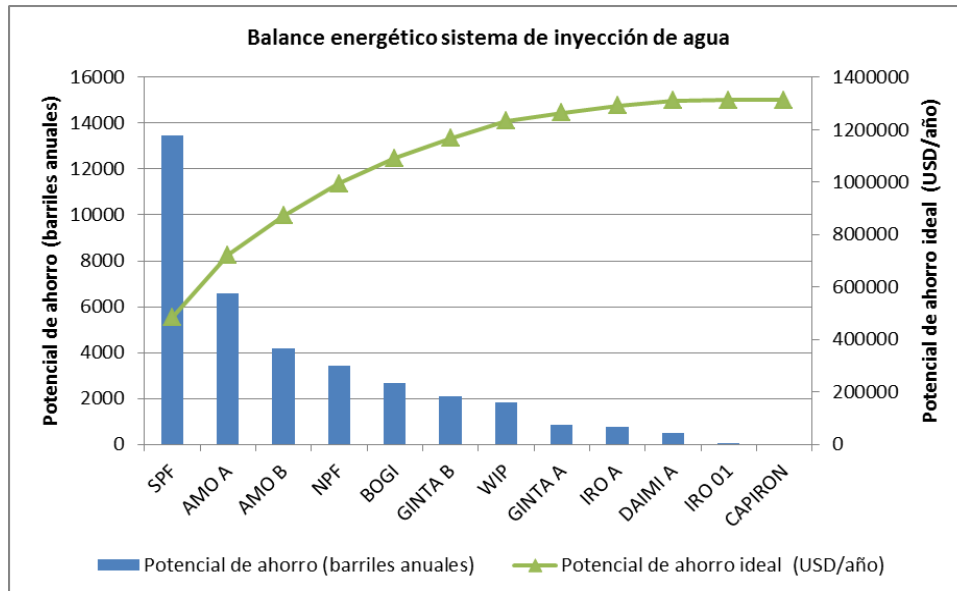
La eficiencia calculada en estos sistemas corresponde al conjunto motor bomba. Se utiliza la metodología explicativa para el cálculo de eficiencias de los equipos de este sistema.

En la figura 15.13 y la tabla 15.5 permite observar los resultados de consumo, eficiencia y potenciales de ahorro, por locación donde se disponen equipos de este sistema.

**Tabla 5.15 Potencia de ahorro sistema de inyección de agua**

Sistema	Área	Locación	Consumo (MWh-Día)	Eficiencia media (%)	Trabajo realizado (MWh-Día)	Pérdidas totales (MWh-Día)	Potencial de ahorro ideal (MWh-Día)	Potencial de ahorro (barriles anuales)	Potencial de ahorro (ton CO2 anuales)	Potencial de ahorro ideal (USD/año)	
Inyección agua	Sur	Amo A	4,47	65,2	2,91	1,56	0,44	6567,48	858,02	\$236429,33	
		Amo B	3,35	66,7	2,23	1,12	0,28	4168,58	544,61	\$1 50068,88	
		Wip	4,47	72,25	3,23	1,24	0,12	1842,92	240,77	\$66344,96	
		Daimi A	1,2	72,25	0,87	0,33	0,03	494,74	64,64	\$17810,73	
		Iro 01	1,2	74,66	0,90	0,30	0,00	61,17	7,99	\$2202,05	
		Iro A	1,5	78,4	1,18	0,32	0,05	764,60	99,89	\$27525,67	
		Ginta A	1,5	78,8	1,18	0,32	0,06	854,56	111,64	\$30763,99	
		Ginta B	1,2	63,32	0,76	0,44	0,14	2101,31	274,53	\$75647,02	
		SPF	15,09	69,04	10,42	4,67	0,90	13483,44	1761,57	\$485403,88	
	Norte	Bogi	1,27	60,84	0,77	0,50	0,18	2696,08	352,23	\$97058,76	
		Capirón	1,12	75	0,84	0,28	0,00	0,00	0,00	\$0,00	
		NPF	5,59	70,92	3,96	1,63	0,23	3419,30	446,72	\$123094,80	
	Total			41,96	70,62	29,25	12,71	2,43	36454,17	4762,62	\$1312350,08





**Figura 5.13 Balance energético sistema de inyección de agua**

### 5.10.5. Potencial de ahorro en el sistema de transporte de petróleo del Bloque

#### 16

Para el sistema de transporte de crudo, se ha realizado el balance en función al rendimiento de las bombas booster de crudo, y bombas transferencia. La información requerida para este caso se la tomó de las siguientes fuentes:

- Datos de operaciones de los equipos entregados por el personal de campo
- Los datos de consumo eléctrico de las bombas de transferencia son los desplegados en el sistema SCADA de procesos.
- P&IDs (datos nominales de bombas del sistema de transporte de crudo).

#### Consideraciones del cálculo:

Para el cálculo de la eficiencia de las bombas del sistema de transporte de crudo, se ha asumido lo siguiente:

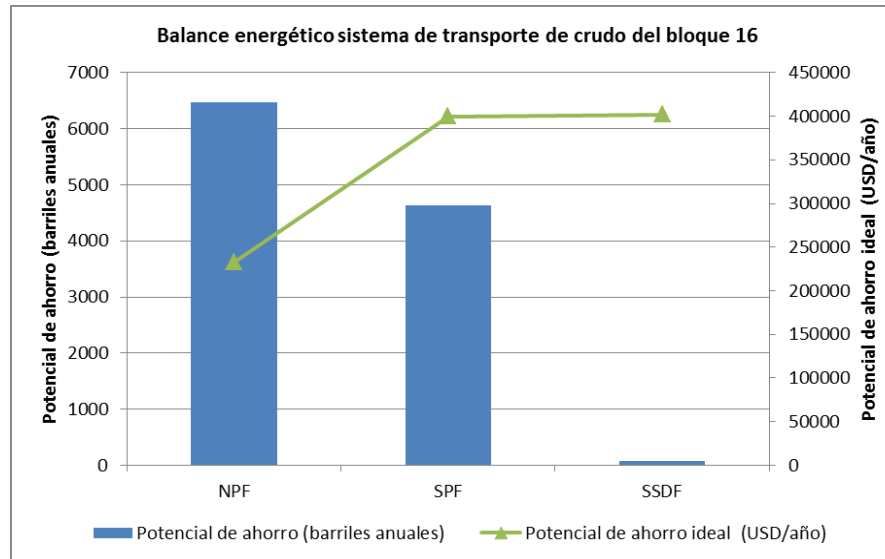
- Los datos corresponden al mismo período en el que se realizó el recorrido de medición de energía eléctrica de las bombas electrosumergibles.
- El caudal de operación de las bombas se lo calculó en función de la cantidad de crudo bombeado que se entrega desde cada facilidad entre el número de equipos en el que se distribuye el flujo.
- Se asume que no existe flujo preferencial en ninguna bomba en particular del agrupamiento.

- En los equipos que no poseen medidores de presión en la succión y descarga, tal es el caso de las bombas booster de NPF y SPF, se asume que este valor es igual al cabezal correspondiente.

En la tabla 5.16 y figura 5.14 permite observar los resultados de consumo, eficiencia y potenciales de ahorro, por locación donde se disponen equipos de este sistema.

**Tabla 5.16 Potencia de ahorro sistema de transporte de crudo del Bloque 16**

Sistema	Área	Locación	Consumo (MWh-Día)	Eficiencia media (%)	Trabajo realizado (MWh-Día)	Pérdidas totales (MWh-Día)	Potencial de ahorro ideal (MW-Día)	Potencial de ahorro (barriles anuales)	Potencial de ahorro (Ton CO2 anuales)	Potencial de ahorro ideal (USD/año)
Transporte Crudo	Sur	SPF	0,93	41,73	0,39	0,54	0,31	4638,75	606,04	\$166995,01
	Norte	NPF	1,26	40,78	0,51	0,75	0,43	6464,22	844,53	\$232711,74
	SSFD	SSDF	1,34	74,65	1,00	0,34	0,00	70,31	9,19	\$2531,28
	Total			3,53	52,39	1,9	1,63	0,74	11173,28	1459,76



**Figura 5.14 Balance energético sistema de transporte de crudo del Bloque 16**

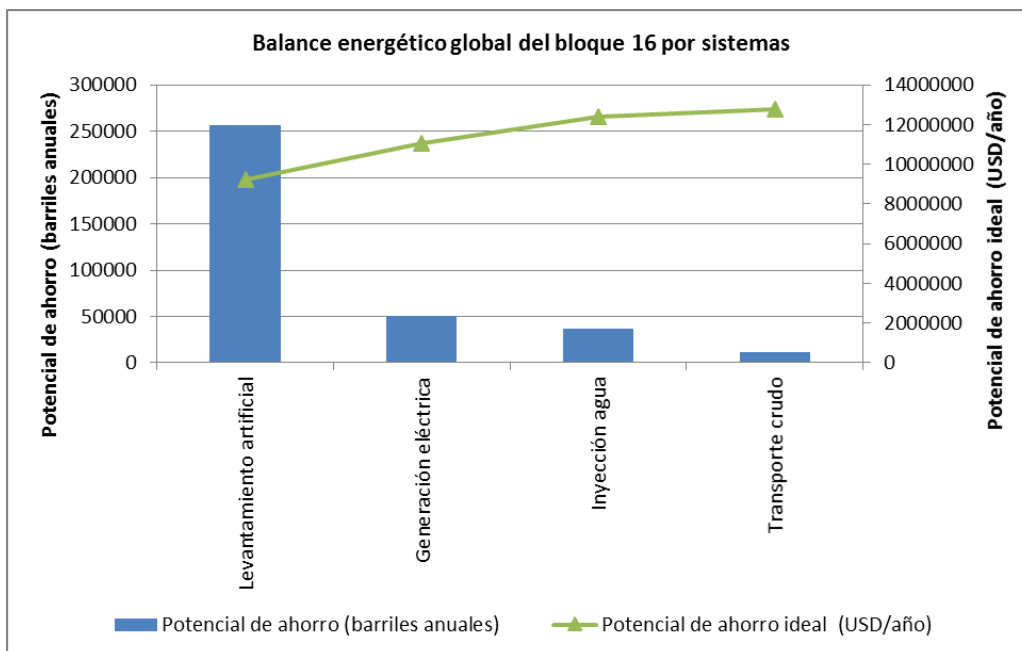
### 5.10.6. Potencial de ahorro por sistemas global del Bloque 16

En la tabla 5.17 se presenta la evaluación económica y el potencial ahorro ideal de energía por cada sistema y locación, considerando que las bombas y generadores de energía pueden regresar a su eficiencia nominal, de lo cual se desprende la disminución potencial de emisiones de gases de efecto invernadero, de barriles de crudo y el ahorro económico con un valor promedio de 36 USD por barril, pagado a REPSOL por el Gobierno Ecuatoriano, en el sistema de generación a gas se aprovecha casi el 100% del gas disponible en el Bloque 16 por lo que el potencial de ahorro de los generadores de gas y crudo son haciéndolos trabajar en sus curvas de operación para un máximo rendimiento, esto se lo puede hacer mediante un estudio minucioso de los componentes del volumen del gas que tienen componentes de poder calorífico de mezcla, los valores de potencial de ahorro se puede visualizar en la tabla siguiente:

**Tabla 5.17 Potencial de ahorro global del Bloque 16 por sistemas**

Sistema	Potencial de ahorro ideal (MWh-Día)	Potencial de ahorro (Barriles anuales)	Potencial de disminución Emisiones CO2 (Ton CO2 anuales)	Potencial de ahorro ideal (USD/año)
Generación eléctrica	3,39	50823,74	6639,94	\$1829647,58
Levantamiento artificial	17,13	256819,13	33552,61	\$9245488,56
Inyección agua	2,43	36454,17	4762,62	\$1312350,08
Transporte crudo	0,74	11173,28	1459,76	\$402238,03
Total Bloque 16	23,69	355270,32	46414,93	\$12789724,25

De acuerdo a la tabla 5.17 el potencial de ahorro ideal haciendo trabajar a los equipos en sus curvas de operación para un máximo rendimiento es de \$ 12 789 724,25 por año.



**Figura 5.15 Balance energético global del Bloque 16 por sistemas**

### 5.11. VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno)

Para realizar los cálculos se tomó como referencia a uno de los proyectos implementados por REPSOL “Conversión de la Turbina de Generación Eléctrica del SPF de REPSOL<sup>54</sup>”, con una inversión aproximada de 2000000 USD se logró captar 3800000 pies cúbicos de gas y alimentar una turbina que genera 17 MW; reduciendo emisiones de CO2 en el orden de las 70 mil toneladas al año, este proyecto consistió en aprovechar el gas que era enviado a la tea y utilizarlo para generación en una turbina que antes quemaba diésel, para ello se procedió a convertir a sistema dual de combustible (gas-diésel).

La turbina del NPF de igual potencia consume 1300 galones de diésel por día, el costo del galón de diésel en el Bloque 16 es de 5 dólares aproximadamente.

$$V.A.N. = -A + \sum_{s=1}^n \frac{Q_s}{(1+i)^s} \quad (17)$$

Donde:

A = desembolso inicial = 2 000 000 USD

i = rentabilidad mínima que le exigimos a la inversión

<sup>54</sup> Conversión de la Turbina de Generación Eléctrica del SPF de REPSOL: Proyecto implementado por REPSOL en el SPF del Bloque 16 (Fuente: DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA REPSOL)

s = Años de duración del proyecto

$Q_s$  = Flujo de caja del momento s

$$Q_s = \text{Flujo efectivo de ingreso } (A_0) - \text{desembolso inicial } (A) \quad (18)$$

$$A_0 = 1300 \text{ gal} * 5 \text{ USD} * 363 \text{ días} = 2359500 \text{ USD}$$

$$s = 1$$

$$Q_1 = 2359500 \text{ USD} - 2\,000\,000 \text{ USD} = 359500 \text{ USD}$$

$i = 15.8\%$  considerando la tasa de interés de los bancos locales

Realizando los cálculos tenemos un VAN resultante de 2753166, es decir es un proyecto muy rentable.

Para el cálculo del TIR se tiene la siguiente expresión (TIR = r):

$$0 = -A + \frac{Q_1}{(1+r)^1} + \frac{Q_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+r)^n} \quad (19)$$

Despejando r (TIR), realizando el cálculo tenemos un resultado de  $-0,82$  es decir es un proyecto es muy rentable con una recuperación de la inversión en menos de un año.

### 5.12. Conclusiones:

- De acuerdo al objetivo de la propuesta, se logró establecer los modelos de línea base que se utilizará para la gestión energética del Bloque 16 de REPSOL para el periodo 2004 – 2012 para la Norma ISO 50001:2011.
- La línea base energética se la normalizó utilizando las variables principales que afectan al uso y al consumo de la energía, por ejemplo, barriles de producción de crudo, barriles de agua inyectados, barriles de transporte de crudo, consumo de energía, tomando en consideración el tiempo y/o dólares utilizados.
- De acuerdo a la regresión de datos realizada el coeficiente de correlación R del modelo 2 es el que mejor representa al conjunto de datos, mientras que el mejor porcentaje de error promedio se obtuvo en el modelo 3; comparando el modelo 2 y 3 por su complejidad el más recomendable es el modelo 2, manifestando que en los modelos 1 y 3 también se obtuvo resultados satisfactorios.

## CONCLUSIONES GENERALES

1. Se estableció el estado del arte del sistema operacional de extracción, transporte y generación de energía para la producción de petróleo, siendo el crudo el motor impulsor de la economía nacional, la Gerencia de Transporte y Almacenamiento la encargada de realizar el transporte de crudo por el SOTE y la generación eléctrica es autogenerada para la producción de petróleo del Bloque 16.
2. Se determinó que los grandes equipos consumidores tienen un buen comportamiento luego de realizar el diagnóstico energético, esto debido a que no tienen paradas correctivas prolongadas y apagones inesperados repetitivos y la presencia de equipos no significativos tienen un menor comportamiento lo que determinó que sea admisible la obtención de los modelos de línea de base energética.
3. Se conoció las líneas base implementada en otras empresas como las de la Central Hidroeléctrica “Carlos Mora Carrión” y las del Área de Molienda del Ingenio Providencia S.A. las mismas que hacen referencia al consumo de energía en función de la producción.
4. Se obtuvieron modelos de línea base energética para el sistema operacional del Bloque 16 de REPSOL para obtener la certificación ISO 50001:2011,
5. Se evaluó tres variantes de modelos de línea base energética para la Norma ISO 50001:2011, de las tres variantes obtenidas propongo el modelo 2 para la línea de base energética de Bloque 16 para obtener la certificación ISO 50001:2011 debido a que relaciona directamente el crudo producido que es lo que le da el factor económico a REPSOL.
6. Se obtuvo los modelos de línea de base energética que permite evaluar los consumos de energía y establecer los niveles de eficiencia energética cumpliendo los requisitos estipulados por la Norma ISO 50001:2011.
7. De la evaluación económica se obtuvo un potencial ahorro de \$ 12 789 724,25 por año, haciendo trabajar a los equipos en sus curvas de operación para un máximo rendimiento.

## **RECOMENDACIONES GENERALES**

1. Actualmente el esquema de medición cuenta con algunas deficiencias que se reportan por la no medición de todos los circuitos distribuidos DCS, también deficiencia en las mediciones principales del proceso de producción. Se hace importante entonces verificar cuales son los circuitos que aún falta para la implementación de los medidores, lo que garantizará que todos los consumos estén medidos y facilitará un diagnóstico más confiable para los indicadores de gestión.
2. Realizar un estudio minucioso de los componentes del volumen del gas y crudo que tienen componentes de poder calorífico de mezcla para que los generadores trabajen en sus curvas de operación para un máximo rendimiento.
3. De los procesos de separación de NPF y SPF no están considerado los ventiladores de los trenes de compresión de gas y las bombas de drenaje debido a que no disponen de placa de datos, esto debe corregirse por seguridad y normativa de acuerdo a la NFPA 70E “Estándar para seguridad eléctrica en el lugar de trabajo” ítem 420.10 “Equipos para uso general” (3) Placa de datos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación. (2011). AENOR. Obtenido de [www.aenor.es](http://www.aenor.es)
- Benítez, G. F. (24 de 08 de 2006). El OCP, el SOTE y el interés nacional. Recuperado el 02 de 01 de 2014, de AMÉRICA LATINA en movimiento: <http://alainet.org/active/13181>
- CENGEL, Yunus; Termodinámica; 5ta Edición, McGraw – Hill/ Editores Interamericanos S.A., México – D.F. 2009 (<http://tigrepetrolero.weebly.com/biblioteca-virtual.html>)
- CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR, Art. 313 (Sectores estratégicos, servicios y empresas públicas 2008).
- Departamento Eléctrico Bloque 16 REPSOL. (s.f. de s.f. de 2012). Departamento Eléctrico Bloque 16 REPSOL. Bloque 16, Coca, Francisco de Orellana, Ecuador. Recuperado el 10 de 10 de 2013.
- EN16001, Sistema de Gestión de Energía (2009). Gestión de la Energía.
- EP PETROECUADOR. (s.f. de s.f. de 2013). Plan operativo año 2013 - producción, transporte y almacenamiento; refinación y comercialización interna y externa de crudo, gas natural. Recuperado el 02 de 01 de 2014, de EP PETROECUADOR: [http://www4.eppetroecuador.ec/lotaip/pdfs/vigente/POA\\_2013-2016.pdf](http://www4.eppetroecuador.ec/lotaip/pdfs/vigente/POA_2013-2016.pdf).
- Jesús María López Lezama, Antonio Padilha Feltrin, Luis Alfonso Gallego Pareja. (09 de 06 de 2009). Ubicación óptima de generación distribuida en sistemas de energía eléctrica. Recuperado el 02 de 02 de 2014, de Ingeniería y Ciencia. Sistema de Información Científica - REDALIC: <http://www.redalyc.org/pdf/835/83512213001.pdf>
- Mendieta, I. S. (s/n de s/n de 2013). Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado el 01 de 03 de 2015, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec>: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4636/1/TESIS.%20pdf.pdf>
- Microsoft Excel, (2010). Herramientas - Análisis de datos - Regresión - Ayuda.
- Miguel San Sebastián, Anna Karin. (17 de 11 de 2003). La explotación petrolera en la cuenca amazónica de Ecuador: una emergencia para la salud pública. Recuperado el 01 de 01 de 2014, de Revista Panamericana de Salud Pública: [http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1020-49892004000300014](http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49892004000300014)
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador. (s.f. de s.f. de 2013). Dirección de Eficiencia Energética. Recuperado el 01 de 12 de 2013,

de Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador:  
<http://www.energia.gob.ec/direccion-de-eficiencia-energetica/>

- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador. (s.f. de s.f. de 2014). Proyectos de Generación Eléctrica. Recuperado el 02 de 11 de 2014, de Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador:  
<http://www.energia.gob.ec/proyectos-emblematicos-2/>
- PETROAMAZONAS EP. (12 de 2013). Plan Estratégico 2014 – 2017. Recuperado el 01 de 02 de 2014, de PETROAMAZONAS EP:  
<http://www.petroamazonas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/02/6-K-1-PLAN-ESTRATEGICO-2014-2017-DIC-2013-.pdf>
- PETROAMAZONAS EP. (17 de 06 de 2014). Asambleístas conocen tecnologías y salvaguardas ambientales que aplica PETROAMAZONAS EP en sus operaciones. Recuperado el 01 de 10 de 2014, de PETROAMAZONAS EP:  
<http://www.petroamazonas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/06/Visita.pdf>
- PETROAMAZONAS EP. (08 de 10 de 2014). Petroamazonas EP capta inversiones por USD 2.120 millones para el manejo de campos maduros en producción. Recuperado el 01 de 11 de 2014, de PETROAMAZONAS EP:  
<http://www.petroamazonas.gob.ec/petroamazonas-ep-capta-inversiones-por-usd-2-120-millones-para-el-estado-ecuatoriano-para-el-manejo-de-campos-maduros-en-produccion/>
- P&ID: SIGIN / Manuales y Procedimientos / Documentación clave e instalaciones / Plataformas / OCP 802 / Piping / P&ID
- REPSOL. (13 de 09 de 2011). REPSOL. Recuperado el 1 de 12 de 2014, de [www.repsol.com](http://www.repsol.com):  
[http://www.repsol.com/es\\_es/corporacion/prensa/notas-de-prensa/ultimas-notas/13092011-refineria-a-coruna-gestion-energetica.aspx](http://www.repsol.com/es_es/corporacion/prensa/notas-de-prensa/ultimas-notas/13092011-refineria-a-coruna-gestion-energetica.aspx)
- REPSOL. (22 de 01 de 2013). REPSOL. Obtenido de [www.repsol.com](http://www.repsol.com):  
[http://www.repsol.com/es\\_es/corporacion/complejos/puertollano/sala-de-prensa/notas-de-prensa/certificacion-sistema-gestion-energetica-refineria-puertollano.aspx](http://www.repsol.com/es_es/corporacion/complejos/puertollano/sala-de-prensa/notas-de-prensa/certificacion-sistema-gestion-energetica-refineria-puertollano.aspx)
- REPSOL ECUADOR. (2012). Sistema de Gestión Integrado. Obtenido de [www.repsol.com](http://www.repsol.com)
- Rodriguez Ramos, M. H. (12 de 08 de 2013). Universidad Autónoma de Occidente. Recuperado el 01 de 03 de 2015, de Departamento de Energética y Mecánica, Santiago de Cali:  
<http://bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/5417/1/TEL01812.pdf>
- REPSOL Ecuador, Bloque 16 (2013). Diagrama Unifilar del Bloque 16.

- REPSOL Ecuador, Bloque 16 (2012). Sistema de Gestión Integrado (SGI).
- REPSOL Ecuador, Bloque 16 (2012). Departamento de Energía.
- REPSOL Ecuador, Bloque 16 (2010 -2012) Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero norma ISO: 14064.
- REPSOL Ecuador, Bloque 16 (2004 – marzo 2013) Datos del TOW.
- REPSOL Ecuador, Bloque 16 (2004 – marzo 2013) Reporte mensual de producción.
- REPSOL Ecuador, Bloque 16 (2004 – marzo 2013) Reporte mensual del sistema de generación a diésel.
- REPSOL Ecuador, Bloque 16 (2004 – marzo 2013) Reporte mensual del sistema de generación a crudo.
- REPSOL Ecuador, Bloque 16 (2004 – marzo 2013) Reporte mensual de sistema de generación a gas.
- REPSOL Ecuador, Bloque 16 (2013 – 2018) Forecast de producción del Bloque 16.

# **ANEXOS**

# Anexo 1. Diagrama unifilar eléctrico Bloque 16

