



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADOS

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO EN OPCIÓN AL GRADO
ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN DE
ENERGÍAS**

Título:

**“DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL BLOQUE 16 DE REPSOL,
MEDIANTE EL USO DE LA NORMA ISO 50001 EN EL AÑO 2015.
PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA”**

Autor: Portilla Bastidas, Franklin Fernando

Tutor: Ing. MSc. León Segovia Manuel Ángel

LATACUNGA – ECUADOR

Enero – 2017



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

DIRECCIÓN DE POSGRADO

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: Portilla Bastidas Franklin Fernando, con el título de tesis: **“Diagnóstico energético del Bloque 16 de Repsol, mediante el uso de la Norma ISO 50001 en el año 2015, propuesta de mejora de la eficiencia energética”**, 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 Noviembre 2016

Para constancia firman:

MSc. EDWIN HOMERO MOREANO MARTÍNEZ
NOMBRES Y APELLIDOS
cc.....
PRESIDENTE

PhD. ENRIQUE TORRES TAMAYO
NOMBRES Y APELLIDOS
cc.....
MIEMBRO

PhD. HECTOR LUIS LAURENCIO
NOMBRES Y APELLIDO
cc.....
MIEMBRO

PhD. EDILBERTO CHACÓN MARCHECO
NOMBRES Y APELLIDOS
cc.....
OPONENTE

AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

Latacunga, Diciembre del 2016

En mi calidad de Director de Tesis presentada por el Ing.Portilla Bastidas Franklin Fernando, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es **“Diagnóstico energético del Bloque 16 de Repsol, mediante el uso de la Norma ISO 50001 en el año 2015, propuesta de mejora de la eficiencia energética”**.

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

Ing. MSc. Manuel Ángel León Segovia

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, Franklin Fernando Portilla Bastidas, portador del número de cédula 1709404568, 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

Franklin Fernando Portilla Bastidas

C. I. 1709404568

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fortaleza física y espiritual para terminar este trabajo, a mis padres, mi esposa Alexandra que es mi complemento mi amante y compañera tierna, a mis hijos Isabela, Sofía, y Alejandro, por cederme el tiempo que a ellos les pertenecía, además por compartir conmigo los momentos más felices de mi vida y los más tristes.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, a través de los docentes de posgrados por su profesionalismo y al personal administrativo por su calidez humana.

Quiero agradecer a mi tutor, Ángel León, el amigo.

A mis padres y toda mi familia

A mis compañeros de trabajo

Franklin Fernando Portilla Bastidas

DEDICATORIA

Este trabajo en opción al título de, Máster en Gestión de Energías, está dedicado a mis hijas. Espero que les sirva de guía para decidir sus caminos.

A todos los miembros que se encuentran estudiando tanto de la familia, de mi esposa y la mía, que les sirva de ejemplo e inspiración.

Franklin Fernando Portilla Bastidas

CERTIFICACIÓN DE CRÉDITOS QUE AVALAN LA TESIS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

PROGRAMA: “MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS”

“Diagnóstico energético del Bloque 16 de Repsol, mediante el uso de la Norma ISO 50001 en el año 2015, propuesta de mejora de la eficiencia energética”

Autor: Franklin Fernando Portilla Bastidas

Fecha: Noviembre del 2016

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**UNIDAD DE POSGRADOS****MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

TÍTULO: Diagnóstico energético del Bloque 16 de Repsol, mediante el uso de la Norma ISO 50001 en el año 2015, propuesta de mejora de la eficiencia energética.

AUTOR: Portilla Bastidas Franklin Fernando.

TUTOR: Ing. MSc. León Segovia Manuel Ángel

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla en Repsol, se hace referencia a los equipos de Levantamiento Artificial que son empelados para extraer el petróleo, Equipos de Inyección de Agua de Formación que son empleados para inyectar agua de formación que se obtiene del proceso de separación del petróleo, agua de formación y gas; y Transporte de Crudo que son empleados para trasportar el petróleo.

Se propone realizar balances energéticos, revisiones energéticas de los usos y consumos de energía, en cada uno los sistemas de Repsol para luego desarrollar indicadores energéticos que satisfagan los requisitos de calidad de la Norma ISO 50001 y obtener la certificación de la Norma ISO 50001 que permite demostrar el compromiso y la mejora continua en la gestión energética.

Descriptor: Equipos de levantamiento artificial, equipos de inyección de agua de formación y transporte de crudo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**UNIDAD DE POSGRADOS****MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

TÍTULO: Energy diagnosis of Block 16, Repsol, using ISO 50001 in 2015, proposed improving energy efficiency.

AUTOR: Portilla Bastidas Franklin Fernando.

TUTOR: Ing. MSc. León Segovia Manuel Ángel

ABSTRACT

In the present work it is developed in Repsol, referring to artificial lift equipment they are EMPLOYEES to extract oil Equipment Water Injection Training which are used to inject formation water obtained from the separation process oil is, formation water and gas; and transportation of crude oil which are used to transport oil.

It is proposed to make energy balances , energy reviews applications and energy consumption in each systems Repsol then develop energy indicators that meet the quality requirements of the ISO 50001 standard and obtain certification of ISO 50001 allows demonstrate commitment and continuous improvement in energy management.

Descriptors: Artificial lifting equipment, water injection equipment training and transportation of crude oil.

Índice general

| | |
|----------------------------------------|------|
| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI..... | i |
| PORTADA..... | i |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO..... | ii |
| AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS | iii |
| AUTORÍA | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| DEDICATORIA..... | vi |
| RESUMEN..... | ix |
| ABSTRACT | x |
| Índice general | xi |
| Índice de tablas | xv |
| Índice de figuras | xvii |
| Introducción..... | 1 |
| Situación Problémica..... | 3 |
| Prognosis | 4 |
| Delimitación temporal y espacial | 4 |
| Formulación del problema..... | 5 |
| Objetivos..... | 5 |
| Objetivo general | 5 |
| Campo de acción | 5 |
| Objetivos específicos..... | 5 |
| Hipótesis | 6 |
| Enfoque de la investigación..... | 6 |
| Capítulo 1 | 7 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Marco contextual y teórico | 7 |
| 1.1. Antecedentes de la investigación..... | 7 |
| 1.2. Fundamentación Teórica | 7 |
| ✓ Norma ISO 50 001:2011 | 7 |
| ✓ Levantamiento artificial | 8 |
| ✓ Los pozos inyectores de agua..... | 8 |
| ✓ Obligaciones Ambientales Constitución de la República del Ecuador Relacionadas al Sistema de Gestión de Energía ISO 50 001..... | 9 |
| 1.2.1. Indicadores | 12 |
| 1.2.2. Indicadores de desempeño energético | 13 |
| 1.2.3. Metodología utilizada..... | 16 |
| 1.3. Marco legal vigente | 19 |
| 1.4. Definición de Términos Básicos | 21 |
| Capítulo 2 | 27 |
| Materiales y método | 27 |
| 2.1. Diseño de la investigación..... | 27 |
| 2.1.1. Modalidad de la investigación..... | 27 |
| 2.1.2. Tipo de Investigación | 29 |
| 2.2. Población y muestra | 33 |
| 2.2.1. Delimitación de la zona de estudio..... | 33 |
| 2.2.2..... Fuentes de información | 34 |
| Capítulo 3 | 36 |
| Análisis e interpretación de resultados | 36 |
| 3.1. Balance general de energía de las Operaciones en el Bloque 16 de Repsol..... | 36 |
| 3.1.1..... Actividades a desarrollar | 36 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.2. Análisis energético | 36 |
| 3.1.3. Consumo Eléctrico Nominal Proceso Producción de Petróleo del Bloque 16..... | 37 |
| 3.1.4. Balance energético de los sistemas del Bloque 16. | 42 |
| 3.1.6. Resumen del Cálculo de Potencial de Ahorro de energía en el Bloque 16 | 46 |
| 3.1.7. Diagnóstico de la Eficiencia Energética de las Operaciones en el Bloque 16 | 48 |
| 3.1.8. Planteamiento del Diagnóstico de la Eficiencia Energética | 48 |
| 3.1.9. Cálculo del Potencial de Ahorro en la Operación de Bombas | 49 |
| 3.1.10. Diagnóstico de la eficiencia energética del sistema de levantamiento artificial | 49 |
| 3.1.11. Diagnóstico de la eficiencia energética del sistema de inyección de agua de formación..... | 53 |
| 3.1.12. Diagnóstico de la eficiencia energética del sistema de transporte de crudo..... | 60 |
| 3.1.13. Diagnóstico de la eficiencia energética del Bloque 16, por sistema y locación.... | 63 |
| 3.1.14. Potencial de ahorro | 66 |
| 3.1.15. Análisis | 71 |
| 3.2. Definición de los Indicadores de Desempeño Energético (IDEn) | 73 |
| 3.2.1. Alcance | 73 |
| 3.2.2. Metodología de cálculo | 74 |
| 3.2.3. Análisis del Sistema Levantamiento Artificial | 75 |
| 3.2.4. Análisis del Sistema Inyección de Agua | 76 |
| 3.2.5. Análisis del Sistema Transporte de Crudo | 76 |
| 3.2.6. Indicadores de desempeño energético (IDEn) para motores eléctricos de 1500 HP del sistema de inyección de agua..... | 77 |
| 3.2.7. Índice de Mejora del Desempeño Energético (IMDEn)..... | 81 |
| 3.2.8. Ahorro Energético y Compensación Económica..... | 83 |
| 3.3. Propuesta de mejora de la eficiencia energética..... | 86 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.1. Justificación de la propuesta..... | 87 |
| 3.3.2. Objetivos de la propuesta | 87 |
| 3.3.3. Estructura de la propuesta..... | 88 |
| 3.3.4. Desarrollo de la propuesta | 89 |
| 3.3.5. Marco Teórico | 90 |
| 3.3.6. Descripción de pasos a realizar para la estimación de línea de base, consumos energéticos y ahorros esperados | 94 |
| 3.3.7. Variables relevantes, no relevantes y controladas para la estimación de la línea de base y consumos esperados | 95 |
| 3.3.8. Impacto del tiempo y la medición en proyectos de eficiencia energética | 97 |
| 3.3.9. Impacto del tipo de tecnología en la estimación del ahorro energético..... | 99 |
| 3.3.10. Consideraciones Económicas | 99 |
| 3.3.11. Definición de la inversión..... | 100 |
| 3.3.12. Definición del ahorro económico de la propuesta de eficiencia energética | 101 |
| 3.3.13. Ahorro Económico Estimado | 102 |
| 3.3.14. Definición de periodo simple de recuperación de la inversión | 104 |
| 3.3.15. Reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (CO ₂ e)..... | 106 |
| 3.3.16. Cuantificación de emisiones reducidas para un Proyecto de Tipo Eléctrico..... | 106 |
| 3.3.17. Implementación y Operación..... | 107 |
| 3.3.18. Obtención de resultados | 108 |
| 3.3.19. Verificación de resultados y conclusión de la propuesta..... | 109 |
| 3.3.20. Cronograma de Trabajo | 109 |
| 3.3.21. Estructura del Cronograma | 109 |
| 3.3.22. Recomendaciones para estructurar un cronograma de trabajo | 111 |
| 3.3.23. Evaluación socio-económico-ambiental de la propuesta..... | 111 |

| | |
|-------------------------------------------|-----|
| 3.4. Conclusiones y recomendaciones | 112 |
| 3.4.1 Conclusiones..... | 112 |
| 3.4.2. Recomendaciones | 112 |
| Bibliografía..... | 115 |
| ANEXOS..... | 117 |

Índice de tablas

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Factores de conversión de energía..... | 14 |
| Tabla 2. Operacionalización de variables independientes..... | 32 |
| Tabla 3. Operacionalización de variables dependientes | 32 |
| Tabla 4. Resultados Globales por Sistema del Consumo Eléctrico Nominal del Bloque 16 | 38 |
| Tabla 5. Resultados globales por sistema y área del consumo nominal del Bloque 16 | 38 |
| Tabla 6. Resultados consumo nominal por sistemas, zona sur..... | 39 |
| Tabla 7. Resultados Consumo Nominal Sistema de Levantamiento Artificial, Zona Sur .. | 39 |
| Tabla 8. Resultados Consumo Nominal del Sistema de Inyección de Agua por Locación, Zona Sur | 40 |
| Tabla 9. Resultados Consumo Nominal por Sistemas, Zona Norte | 40 |
| Tabla 10. Resultados consumo nominal sistema de levantamiento artificial por locación, zona norte | 41 |
| Tabla 11. Sistema inyección de agua Zona Norte | 41 |
| Tabla 12. Consumo eléctrico de usos y consumos por sistema y locación | 42 |
| Tabla 13. Balance de Consumo Energético Eléctrico de usos y consumos | 43 |
| Tabla 14. Potencial de ahorro por sistemas | 45 |
| Tabla 15. Potencial de Ahorro Global del Bloque 16 por Sistemas | 46 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 16. Potencia de Ahorro Sistema de Levantamiento Artificial..... | 51 |
| Tabla 17. Matriz De Cálculo de Eficiencia Sistema de Inyección de Agua, zona norte..... | 55 |
| Tabla 18. Matriz De Cálculo de Eficiencia Sistema de Inyección de Agua, zona sur..... | 56 |
| Tabla 19. Bombas de Inyección de Agua en las que se reporta el Consumo Nominal de Energía, Zona Sur..... | 57 |
| Tabla 20. Bombas de Inyección de Agua en las que se reporta el Consumo Nominal de Energía, Zona Norte..... | 58 |
| Tabla 21. Potencia de Ahorro Sistema de Inyección de Agua..... | 59 |
| Tabla 22. Matriz De Cálculo de Eficiencia Sistema de Transporte de Crudo..... | 61 |
| Tabla 23. Bombas de Crudo en las que se reporta Consumo Nominal de Energía..... | 62 |
| Tabla 24. Potencia de Ahorro Sistema de Transporte de Crudo..... | 63 |
| Tabla 25. Proporciones de Consumo Real de Energía de los sistemas del Bloque 16..... | 63 |
| Tabla 26. Balance energético de usos y consumos detallado por sistema y locación..... | 64 |
| Tabla 27. Balance energético de usos y consumos detallado por sistema y locación..... | 65 |
| Tabla 28. Eficiencias Promedio en el Uso de la Energía Eléctrica por Sistemas..... | 70 |
| Tabla 29. Flujo de Trabajo de los Sistemas del Bloque 16..... | 74 |
| Tabla 30. Matriz de Cálculo de Consumos Específicos, sistema de Levantamiento Artificial RG-27-EC-01 Indicadores de desempeño energético, Levantamiento Artificial..... | 75 |
| Tabla 31. Matriz de Cálculo de Consumos Específicos, sistema de Inyección de Agua – RG-27-EC-01 Indicadores de desempeño energético Inyección de Agua..... | 76 |
| Tabla 32. Matriz de Cálculo de Consumos Específicos, Sistema de Transporte de Crudo – RG-27-EC-01 Indicadores de desempeño energético Transporte de Crudo..... | 77 |
| Tabla 33. Indicadores de desempeño energético base..... | 80 |
| Tabla 34. Indicador de Desempeño Energético Estimado..... | 81 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 35. Índice de mejora obtenido | 82 |
| Tabla 36. Desempeño de la propuesta | 85 |
| Tabla 37. Personal involucrado con su grado de responsabilidad..... | 90 |
| Tabla 38. Ejemplo de variables relevantes, no relevantes y parámetros controlados en un motor eléctrico..... | 96 |
| Tabla 39. Presupuesto de la inversión | 101 |
| Tabla 40. Consideraciones económicas..... | 106 |
| Tabla 41. Categorías de proyectos de eficiencia energética..... | 106 |
| Tabla 42. Cálculo de reducción de emisiones de CO ₂ | 107 |
| Tabla 43. Cronograma | 110 |

Índice de figuras

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Proceso desde la energía primaria hasta el servicio de la energía, aplicado en Repsol Bloque 16 (World Energy Assessment, WEC, 2004). | 17 |
| Figura 2. Sistema de gestión energética, la norma ISO 50001 sigue el proceso Planificar-Hacer-Verificar-Actuar de mejora continua del sistema de gestión de la energía. | 18 |
| Figura 3. Diagrama de diagnóstico de calidad energética. | 31 |
| Figura 4. Ubicación de Repsol en el Ecuador, fuente mapas elaborados por Repsol | 34 |
| Figura 5. Diagrama SANKEY de Flujo de la Energía en el Bloque 16 (expresado en MW-Día) | 47 |
| Figura 6. Balance energético Sistema de Levantamiento Artificial | 52 |
| Figura 7. Balance Energético Sistema de Inyección de Agua..... | 58 |
| Figura 8. Balance Energético del sistema de Transporte de Crudo..... | 62 |
| Figura 9. Consumos Eléctricos por Locación y por Sistema..... | 66 |
| Figura 10. Diagrama de Flujo Energético Usos y Consumos de Energía ZONA SUR | 67 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 11. Diagrama de Flujo Energético Usos y Consumos de Energía ZONA NORTE | 68 |
| Figura 12. Diagrama de Flujo Energético Usos y Consumos de Energía ZONA SSF | 69 |
| Figura 13 . Línea de Base Energética, gráfica propuesta | 83 |
| Figura 14. Conceptualización de Línea Base | 92 |
| Figura 15. Relación entre Ahorro Energético e Índice de Mejora de Desempeño Energético..... | 93 |

Introducción

El petróleo que se produce en Repsol, es transportado hasta Lago Agrio a través de un oleoducto subterráneo de 120 kilómetros de longitud con los más innovadores sistemas y estándares de seguridad. Debemos recalcar otro aspecto de relevancia tecnológica que se aplica en el Bloque 16 que es el tratamiento en la reinyección del agua de formación que se produce conjuntamente con un petróleo que va desde los 12.5° API hasta los 18.6° API, de acuerdo a lo cual la producción en promedio tiene 15° API; por tanto su peso y viscosidad hacen nuevamente que Repsol sea reconocida por el manejo de tecnología e infraestructura que demanda grandes inversiones y personal altamente calificado para operar y transportar.

El Sistema de Gestión Integrado (SGI) desplegado en la operación de Repsol Ecuador es un sistema que integra los requisitos de las normas ISO 9001 (Calidad), ISO 14 001 (Medio Ambiente), OSHAS 18001 (Seguridad y Salud Ocupacional) e ISO 50001 (Gestión de Energía). El SGI incluye los procedimientos, instructivos y registros que cada uno de los procesos desarrollados en la actividad de la empresa y utiliza por cada una de las áreas en la realización de su trabajo.

El presente trabajo tiene como propósito desarrollar indicadores de desempeño energético que permitan mejorar la eficiencia en el Bloque 16 de Repsol, identificando la energía aprovechada como trabajo y las pérdidas generadas en cada uno de los sistemas a través de un balance, según la estructura del proceso de producción y al hecho de que la energía eléctrica utilizada en el Bloque 16 de Repsol es autogenerada.

En el Capítulo 1, se establecen opiniones y explicaciones de la problemática planteada en este trabajo de investigación; así como también una descripción amplia de la operación, relacionado con el diagnóstico de la eficiencia.

En el Capítulo 2, se establece la metodología, modalidad, forma, tipo y nivel para realizar la investigación, los métodos y técnicas a ser empleadas, la operacionalización de las variables y el procedimiento de la investigación.

En el Capítulo 3, se analizan e interpretan los resultados de los datos obtenidos por los instrumentos aplicados a través de tablas y gráficos estadísticos generados a partir de la información recolectada y tabulada, se plantea la propuesta con acciones de mejora con el análisis económico e impacto ambiental, se formulan las conclusiones y recomendaciones pertinentes basadas en los resultados de la investigación.

Situación Problemática

Repsol Ecuador es una empresa de Exploración y Producción de Hidrocarburos cuenta con dos facilidades de producción en su campo NPF – Facilidades de Producción del Norte y SPF – Facilidades de Producción del Sur (siglas en inglés); con tecnología especializada que permite manejar tanto petróleo como fluido. El crudo de Repsol es transportado a través del oleoducto subterráneo de 120 kilómetros de longitud hasta Lago Agrio con los más eficientes e innovadores estándares de seguridad y cuenta con los siguientes controles de proceso:

- ✓ Control Supervisión y Adquisición de datos (SCADA).
- ✓ Sistema de Control Distribuido (DCS).
- ✓ Control Lógico Programable (PLC).
- ✓ Monitoreo en línea.
- ✓ Sistema histórico de datos TOW.
- ✓ Sistemas automáticos para detección y extinción de incendios.
- ✓ Talleres de mantenimiento.

Repsol tiene una producción aproximada de 26 000 barriles diarios de crudo, para obtener esta producción requiere de energía eléctrica el cual constan con moto-generadores que utilizan combustibles como crudo, diésel y gas:

- Tres turbinas de gas marca GE modelo LM 2 500, dos a diésel y una a gas
- Siete motores de combustión interna a crudo marca Wartsila y
- Veintiún motores de combustión interna a gas marca Waukesha

Dando una capacidad de generación total de 94 MW. Esta energía generada es utilizada para extraer alrededor de 900 000 barriles de fluido, obteniendo 26 000 barriles de crudo y el resto es agua de formación la misma que es reinyectada a los pozos de inyección de agua de formación.

Del total de energía que se genera alrededor del 80% se consume en bombas de inyección de agua y el resto en pozos y bombas para la extracción del fluido y transporte del crudo.

Los departamentos de generación eléctrica y operaciones son los responsables del manejo de la energía generada, al momento no se dispone de un estudio del estado actual respecto a la eficiencia energética.

El presente trabajo contempla el desarrollo de indicadores energéticos en los sistemas de levantamiento artificial, inyección de agua de formación y transporte de crudo, producto de la realización de este trabajo se identificarán los sectores en los cuales hay que tomar medidas para proponer acciones de mejora en donde se vean reflejados beneficios económicos y ambientales.

Prognosis

De no llevarse a cabo el desarrollo de los indicadores energéticos y plantear una propuesta de mejora en base a un seguimiento adecuado, provocará continuar operando con un elevado consumo de energía y sin reducir la contaminación al medio ambiente. Adicional la definición de estos indicadores servirán para el desarrollo de los mismos y que satisfagan los requisitos de calidad de la norma ISO 50 001 y certificación de la misma.

Delimitación temporal y espacial

La evaluación de los sistemas de levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo, permitirá establecer las posibles acciones a tomarse en cuenta para mejorar su rendimiento. La aplicación de este plan se llevará a cabo a partir de Enero de 2016 en los sistemas en mención del Bloque 16 de Repsol en la ciudad de Francisco de Orellana.

Formulación del problema

El desconocimiento del estado actual de eficiencia energética en los sistemas de levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo del Bloque 16 de Repsol provoca la disminución del rendimiento en el aspecto energético y aumento en la contaminación ambiental.

La oportunidad de una industria para contar con un sistema de energía más eficiente ayuda a disminuir el costo de producción por concepto de consumo de la misma, de esto se origina la siguiente cuestión:

¿De qué forma incide el desarrollo y seguimiento de indicadores energéticos: levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo en el bloque 16 en su eficiencia energética?

Objetivos

Objetivo general

Diagnosticar la eficiencia energética del Bloque 16 de Repsol mediante la determinación de indicadores que satisfagan la Norma ISO 50 001.

Campo de acción

Equipos de levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo ya que son las más relevantes en consumo de energía eléctrica.

Objetivos específicos

- Realizar el balance general y diagnóstico de la eficiencia energética de cada sistema que conforma el proceso de producción de petróleo del Bloque 16.
- Determinar los indicadores que satisfagan los requisitos de calidad de la Norma ISO 50 001.

- Diseñar una propuesta con oportunidades de ahorro de energía eléctrica, valorando técnica y económicamente el sistema, así como, las afectaciones medioambientales asociadas al mismo.

Hipótesis

El diagnóstico de la eficiencia energética y la propuesta de indicadores energéticos en los equipos de levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo validados mediante el cálculo de pre-factibilidad, permitirá un mejor aprovechamiento de su potencial energético, así como la reducción del impacto ambiental negativo generado por el consumo de combustibles en el Bloque 16 de Repsol.

Enfoque de la investigación

La presente investigación está centrada en el diagnóstico de la eficiencia energética en el Bloque 16 de Repsol desarrollando los indicadores los indicadores que satisfagan los requisitos de calidad de la Norma ISO 50 001, en los sistemas de: levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo, permitiendo con ello centrar las líneas primordiales de trabajo para el desarrollo de la tesis.

Capítulo 1

Marco contextual y teórico

En el presente capítulo se describe el marco teórico, conceptualización, marco legal y reglamentación vigente, necesarios para las fundamentaciones respectivas en las que se especifican las orientaciones teóricas correspondientes.

1.1. Antecedentes de la investigación

Durante los últimos años, en algunas instituciones se han realizado diversos estudios acerca de la eficiencia energética encaminados a tratar de establecer lineamientos de políticas energéticas pero en el caso de Repsol, no se ha considerado ningún programa o plan puntual que permita mejorar el uso de la energía eléctrica, cuestión que esta preocupante si se considera que las instalaciones donde opera Repsol fueron construidas hace aproximadamente 20 años, tiempo en que los proyectos no contemplaban la forma de racionalización de la energía.

1.2. Fundamentación Teórica

✓ Norma ISO 50 001:2011

El propósito de esta norma internacional es facilitar a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética y el uso y el consumo de la energía. La implementación de esta norma internacional está destinada a conducir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros impactos ambientales relacionados, así como de los costes de la energía a través de una gestión sistemática de la energía.

Esta norma internacional es aplicable a organizaciones de todo tipo y tamaño, independientemente de sus condiciones geográficas, culturales o sociales. Su implementación exitosa depende del compromiso de todos los niveles y funciones de la organización y, especialmente, de la alta dirección (ISO 50001, 2011, p.5).

Esta norma internacional está basada en los elementos comunes de las normas ISO de sistemas de gestión, asegurando un alto grado de compatibilidad principalmente con las Normas ISO 9001 e ISO 14001 (*ISO 5000, 2011*).

✓ **Levantamiento artificial**

Se refiere al uso de medios artificiales para incrementar el flujo de líquidos, tales como petróleo o agua, desde pozos de producción hacia la superficie. Generalmente esto se logra por medio de dispositivos mecánicos en el pozo, tales como bombas, o reduciendo el peso de la columna hidrostática por medio de la inyección de gas a cierta profundidad del pozo.

El levantamiento artificial se necesita en aquellos pozos donde la presión del yacimiento no es suficiente para eyectar los fluidos hasta la superficie, aunque a menudo se usa en pozos fluentes naturales (los cuales técnicamente no lo necesitan) para aumentar el caudal por encima de lo que el pozo fluiría naturalmente. El fluido producido puede ser petróleo, agua o una mezcla de ambos, típicamente incluyendo una cierta cantidad de gas (Schlumberger, 2007).

✓ **Los pozos inyectoros de agua**

En el Bloque 16 de Repsol se llevan a cabo por el método de inyección periférica o externa, que consiste en inyectar el agua fuera de la zona de petróleo, en los flancos del yacimiento.

Se conoce también como inyección tradicional y en este caso, el agua se inyecta en el acuífero cerca del contacto agua petróleo (Ferrer, 2009).

Se utiliza cuando no se posee una buena descripción del yacimiento y/o la estructura del mismo favorece la inyección de agua. Los pozos de inyección se colocan en el acuífero, fuera de la zona de petróleo.

Para la inyección de agua de formación se utilizan motores eléctricos con una capacidad de 1250HP y 1500 HP, estos motores se encuentran acoplados a bombas centrifugas con una capacidad de inyección de 40.000 barriles por día, por lo tanto se dispone en Repsol de alrededor de 50 unidades motor-bomba, los cuales se encuentran distribuidos en las diferentes facilidades NPF y SPF.

✓ **Obligaciones Ambientales Constitución de la República del Ecuador
Relacionadas al Sistema de Gestión de Energía ISO 50 001**

•**Art 313**

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, CRE, 2008).

•**Art 413**

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 (CRE, 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 (CRE, 2010).

•Art 2

Exonerase del pago de derechos arancelarios y demás impuestos adicionales, de todo gravamen que afecte a la importación de materiales y equipos no producidos en el país, necesarios para la investigación, producción, fabricación e instalación de sistemas destinados a la utilización de energía solar, geotérmica, eólica, biomasa, centrales hidráulicas y otras, con fines de investigación o producción de energía, previo los informes favorables del Ministerio de Finanzas, del Instituto Nacional de Energía; y, del Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), en el caso de la mini-hidroelectricidad de hasta 5 000 kW.

En su lugar créase el gravamen único del uno por ciento del valor CIF de los materiales y equipos importados, valor que será destinado al Instituto Nacional de Energía a través del Presupuesto General del Estado. Para la Comercialización de los sistemas o equipos mencionados anteriormente se requerirá, en forma previa, del certificado de calidad otorgado por el Instituto Nacional de Energía y la fijación de precios por parte del Ministerio de Comercio Exterior, Industrialización y Pesca (CRE, 1997).

•Art 98 Trato no discriminatorio en el sector eléctrico

En el sector eléctrico, los proyectos nuevos de las empresas nacionales privadas de generación eléctrica, gozarán de igual tratamiento, mecanismo y condición de garantía y/o pago en la compra de energía, que el aplicado para las transacciones internacionales de electricidad, acorde con las decisiones de la Comunidad Andina y las disposiciones

normativas emitidas por el ente regulador del sector eléctrico, respecto de las garantías de pago, previo informe favorable por cada caso del Ministerio de Electricidad y del Ministerio de Finanzas.

•Art 233 Desarrollo sustentable

Las personas naturales y jurídicas así como las demás formas asociativas regidas por el presente Código, deberán desarrollar todos sus procesos productivos conforme a los postulados del desarrollo sustentable en los términos constantes en la Constitución y en los convenios internacionales de los que es parte el Ecuador.

•Art 234 Tecnología más limpia

Las empresas, en el transcurso de la sustitución de tecnologías, deberán adoptar medidas para alcanzar procesos de producción más limpia como por ejemplo:

- ✓ Utilizar materias primas no tóxicas, no peligrosas y de bajo impacto ambiental
- ✓ Adoptar procesos sustentables y utilizar equipos eficientes en la utilización de recursos y que contribuyan a la prevención de la contaminación
- ✓ Aplicar de manera efectiva, responsable y oportuna los principios de gestión ambiental universalmente aceptados y consagrados en los convenios internacionales, así como en la legislación doméstica, en particular los siguientes:
 - ✓ Reducir, reusar y reciclar
 - ✓ Adoptar la mejor tecnología disponible
 - ✓ Responsabilidad integral sobre el uso de determinados productos, particularmente químicos
 - ✓ Prevenir y controlar la contaminación ambiental
 - ✓ El que contamina, paga
 - ✓ Uso gradual de fuentes alternativas de energía
 - ✓ Manejo sustentable y valoración adecuada de los recursos naturales; y,

- ✓ Responsabilidad intra e inter-generacional.

•Art 235 Incentivo a producción más limpia

Para promover la producción limpia y la eficiencia energética, el Estado establecerá los siguientes incentivos:

- ✓ Los beneficios tributarios que se crean en este Código; y,
- ✓ Beneficios de índole económica que se obtengan de las transferencias como "Permisos Negociables de Descarga". En el reglamento a este Código se fijarán los parámetros que deberán cumplir las empresas que apliquen a estos beneficios, y la forma como se regulará el mercado de permisos de descarga o derechos de contaminación de acuerdo a la normativa nacional y de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, con sus respectivos plazos de vigencia, el mecanismo de transferencia de estos derechos y el objetivo de calidad ambiental que se desee obtener a largo plazo.

•Art 236 Adaptación al cambio climático

Con el fin de facilitar la adaptación del Ecuador a los efectos del cambio climático y minimizarlos, deberán adquirir y adoptar tecnologías ambientalmente adecuadas que aseguren la prevención y el control de la contaminación, la producción limpia y el uso de fuentes alternativas (Código de la Producción, Comercio e Inversiones, CPCI, 2010).

1.2.1. Indicadores

Los indicadores son parámetros de medición que integran generalmente más de una variable básica que caracteriza un evento, a través de formulaciones matemáticas sencillas, ampliando el significado de las variables que lo componen y permitiendo una más fácil comprensión de las causas, comportamiento y resultados de una actividad.

“Valor cuantitativo o medida de desempeño energético tal como lo defina la organización” (ISO 50001, 2011, p. 9)

Los indicadores pueden considerarse como:

- ✓ Estándares o normas: valor o estado establecido como deseable
- ✓ Metas u objetivos: valores específicos a ser alcanzados

Valor de referencia: valor que sirve como una norma con la cual otros valores son medidos o juzgados

Requisitos de los indicadores

- ✓ Relevantes
- ✓ Comprensibles
- ✓ Predecibles
- ✓ Costos efectivos
- ✓ Consistentes (entre si y relacionables con la meta)
- ✓ Científicamente válidos y verificables
- ✓ Precisos y medibles.

1.2.2. Indicadores de desempeño energético

Los indicadores de desempeño energético (IDEns) pueden definirse identificando el consumo específico de cada uno de los sistemas, esto es el consumo de cada uno de los sistemas frente al trabajo realizado por los mismos.

Los IDEns podrán utilizarse 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.

- ✓ Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero GEI.

Los indicadores definidos están detallados en los registros RG-27-EC-01, 02 y 03 (ANEXO 1, 2 y 3).

Tabla 1. *Factores de conversión de energía*

| MW-Día | Valor | Unidad |
|---------------|--------------|------------------|
| 1 | 24 000 | KW-H |
| 1 | 24 | MW-H |
| 1 | 86 400 | MJ |
| 1 | 361 670 400 | Kcal |
| 1 | 91 140 941 | BTU |
| 1 | 15,25 | Bls Diésel(*) |
| 1 | 14,28 | Bls Crudo(*) |
| 1 | 98 | SCF Gas Sur(*) |
| 1 | 82,03 | SCF Gas Norte(*) |
| 1 | 5,37 | Ton CO2(**) |

(*) Los factores de conversión de energía referidos a cada combustible son determinados a partir de los Poderes Calóricos Inferiores de los mismos.

(**) La cantidad de CO2 equivalente se ha determinado a partir de las equivalencias presentadas referido al cálculo de emisiones de CO2.

La tabla permite disponer de información de una herramienta para la conversión de unidades de medición de energía, de acuerdo a los requerimientos de cada uno de los procesos operativos, que permitirá realizar las transformaciones desde la unidad tipo MW/día a otras unidades, para realizar comparaciones.

El tipo de indicadores a ser definidos deben contemplar además de la dimensión energética, la dimensión social, económica y ambiental.

La dimensión económica refleja la necesidad de disponer de energía confiable y suficiente para todas las actividades productivas. La disponibilidad y la confiabilidad de los servicios de energía es imprescindible para asegurar el desarrollo económico.

Todos los sectores de la economía dependen de servicios seguros, suficientes y eficientes de energía. La electricidad es un insumo importante y a veces irremplazable en las actividades productivas modernas, en la comunicación, en la difusión de la información y en otras industrias de servicio.

Los servicios de energía ayudan al desarrollo económico en el nivel nacional y permiten la generación de ingresos. Las interrupciones del suministro energético pueden causar pérdidas financieras y económicas. Para apoyar las metas del desarrollo sostenible, la energía debe estar disponible siempre, en suficientes cantidades y a precios adecuados.

La dimensión ambiental considera la necesidad de proteger el ambiente sin afectar los niveles de otras dimensiones.

La producción y consumo de energía representan factores importantes que afectan la salud y el ambiente del planeta. Las consecuencias para el medio ambiente del uso de la energía pueden ocurrir en todos los niveles y lugares en que se produce y consume energía.

Los efectos de la contaminación atmosférica en la salud, de la contaminación del agua y de la degradación de la tierra son algunas de las consecuencias negativas.

Considerando la información social, económica, ambiental, energética y su importancia para evaluar el desarrollo del sector, se proponen definir los siguientes indicadores de desempeño energético en los sistemas que se consume mayor cantidad de energía eléctrica, los cuales se listan a continuación:

- Levantamiento artificial
- Inyección de agua
- Transporte de crudo

Existen otros sistemas en los cuales no se definirán indicadores ya que no son tan relevantes o significantes para el motivo de estudio, ya que el consumo de energía no es tan significativo.

1.2.3. Metodología utilizada.

Analizar la evolución por parte de las actividades más significativas en Repsol, los Indicadores de Desempeño Energético definidos para el proceso de producción de petróleo del bloque 16 son los consumos específicos de cada sistema, los cuales se definen por:

$$CE = \frac{\text{Consumo Eléctrico (Sistema)}}{\text{Flujo Fluido Trabajo}} * 100 \quad (1)$$

Dónde:

CE = Consumo Específico del sistema (MW/1000 Barriles de Fluido Trabajo) Puede ser levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo.

Entiéndase por Fluido de Trabajo a aquella sustancia líquida que es tratada o bombeada en cada uno de los sistemas que, como mínimo deberán ser considerados.

1.2.8. Eficiencia energética

La eficiencia energética es un principio que se ha incorporado como una práctica común en varios países, sobre todo por los altos precios de la energía, la limitada disponibilidad de recursos energéticos no renovables y los crecientes problemas ambientales causados por la producción, distribución y consumo de la energía.

Es por esto, que la eficiencia energética se presenta como una alternativa para la optimización de recursos a lo largo de toda la cadena energética, por ejemplo:

- Exploración y producción de portadores energéticos primarios (petróleo, gas natural y carbón)
- Transmisión y almacenamiento de portadores energéticos primarios (oleoductos, gasoductos)
- Generación y distribución de electricidad (pérdidas técnicas).
- Distribución de energía y la provisión de servicios en actividades industriales, comerciales y residenciales.

La figura 1 indica las oportunidades para aplicar el concepto de la eficiencia energética en la cadena energética, en los energéticos electricidad y petróleo.

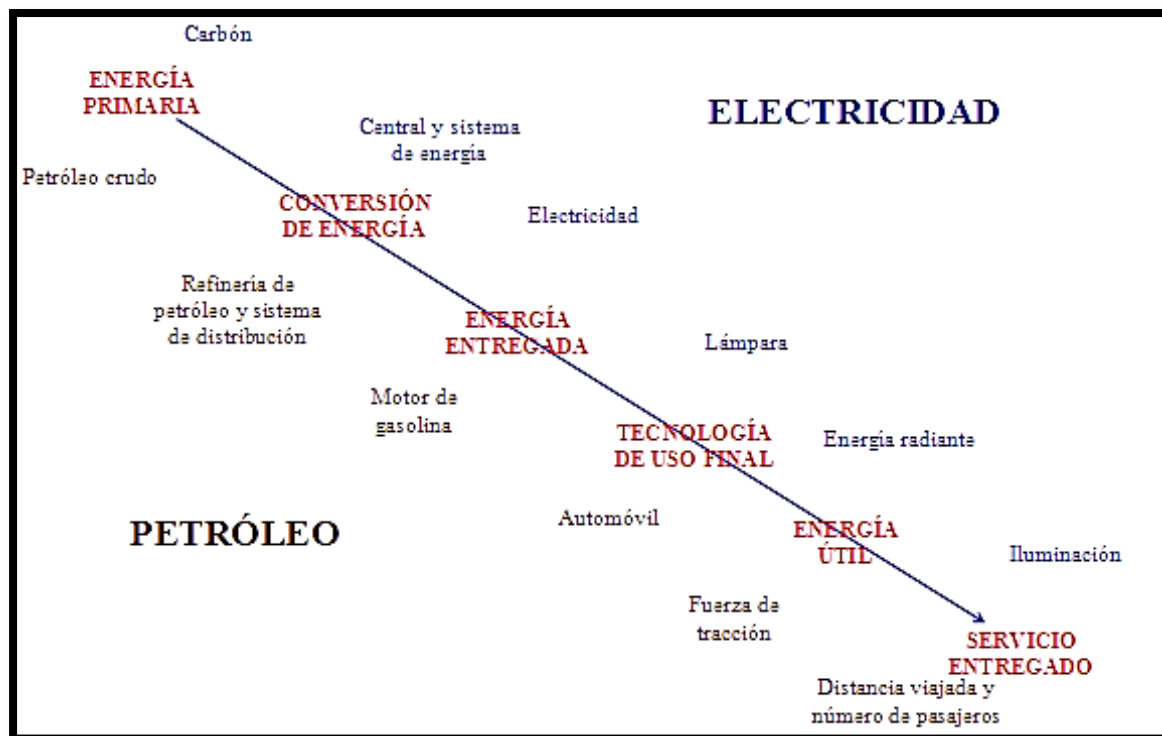


Figura 1. Proceso desde la energía primaria hasta el servicio de la energía, aplicado en Repsol Bloque 16 (World Energy Assessment, WEC, 2004).

1.2.9. Sistema de Gestión Energética

Un Sistema de Gestión Energética está basado en un modelo de mejora continua en el que se establecen una serie de hitos los cuales tienen su origen en una política energética

Un Sistema de Gestión pretende sistematizar los procesos que se dan en una organización con el fin de promover criterios de gestión energética, ahorro y eficiencia. Es un conjunto de elementos interrelacionados o que interactúan para establecer una política y objetivos energéticos, y los procesos y procedimientos necesarios para alcanzar dichos objetivos.

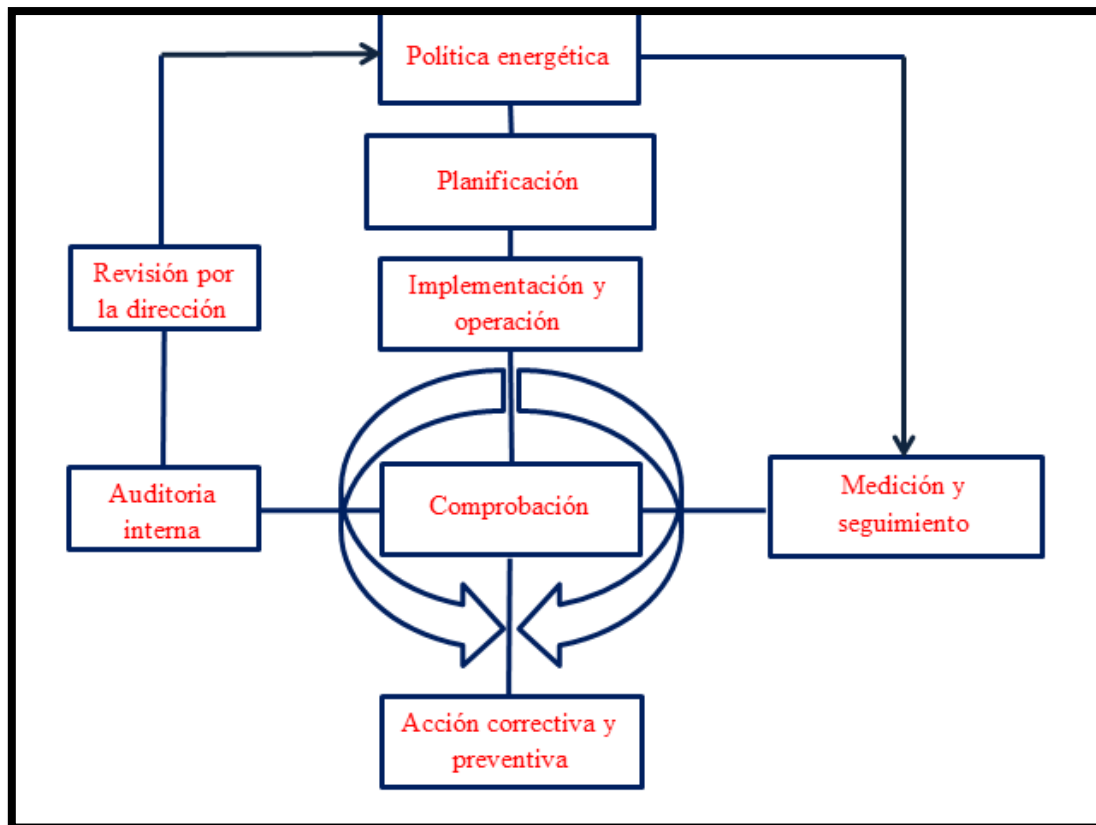


Figura 2. Sistema de gestión energética, la norma ISO 50001 sigue el proceso Planificar-Hacer-Verificar-Actuar de mejora continua del sistema de gestión de la energía.

(UNE-ISO 50 001, 2011) proporciona a las organizaciones, independientemente de su sector de actividad o su tamaño, una herramienta que facilita la reducción de:

- Los consumos de energía
- Los costos financieros asociados
- Las emisiones de gases de efecto invernadero

El Sistema de Gestión de la Energía permite mantener unos niveles de consumo estables en el tiempo gracias a una adecuada gestión del uso que hacemos de la energía.

Los beneficios del Sistema de Gestión Energética en la Organización se pueden observar a diferentes niveles.

Beneficios ambientales y energéticos

- ✓ Optimización del uso de la energía (consumo eficiente)
- ✓ Fomento de la eficiencia energética en el sector
- ✓ Disminución de gases de CO₂ a la atmósfera
- ✓ Reducción de impactos ambientales
- ✓ Mejorar los conocimientos y competencias en la eficiencia y gestión energética del personal

Beneficios de liderazgo e imagen empresarial

- ✓ Demostrar frente a terceros que la empresa contribuye al desarrollo sostenible y la reducción de emisiones de CO₂
- ✓ Aportar seguridad a la dirección en relación al cumplimiento de la legislación de aplicación en materia energética

Beneficios Socioeconómicos

- ✓ Disminución del impacto sobre el cambio climático
- ✓ Reducción de costes como consecuencia del ahorro energético

1.3. Marco legal vigente

Eficiencia energética.- “Un conjunto de acciones que permiten emplear la energía de manera óptima, incrementando la competitividad de las empresas, mejorando la calidad de vida, reduciendo costos y al mismo tiempo, limitando la producción de gases de efecto invernadero” (Organización latinoamericana de energía, OLADE, 2012).

“Es la capacidad para usar menos energía produciendo la misma cantidad de iluminación, calor y otros servicios energéticos” (OLADE, 2014).

El tema energético está estrechamente relacionado con los desafíos globales a los que el mundo se enfrenta hoy, como el avance en materia social, la reducción de la pobreza, la degradación medioambiental, el cambio climático y la seguridad alimentaria, por lo que constituye una cuestión clave de nuestros tiempos. La industria necesita energía disponible y asequible.

Al mismo tiempo, debe existir un equilibrio adecuado entre la creciente demanda de energía y la urgente necesidad de proteger el medio ambiente y el clima (Agencia especializada de las Naciones Unidas, UNIDO, 2010).

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

Por ejemplo: eficiencia de conversión; energía requerida / energía utilizada;

Salida / entrada; valor teórico de la energía utilizada / energía real utilizada.

Debe existir un compromiso entre el alcance que se pretende con el sistema y los recursos destinados a la implantación y posterior seguimiento.

NOTA: es necesario que, tanto la entrada como la salida, se especifiquen claramente en cantidad y calidad y sean medibles (ISO 50001,2011).

La norma ISO 50001 surge de la necesidad de definir los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión energética.

Establece los requisitos para la mejora continua en forma de un uso de la energía más eficiente y más sostenible, independientemente del tipo de energía.

- ✓ No define por sí misma criterios de desempeño específicos con respecto a la energía
- ✓ Los criterios definidos son independientes del tipo de organización
- ✓ Cualquier organización que desee asegurarse de que es conforme con su política energética establecida y demostrar dicha conformidad a otros puede confirmarlo mediante:

- Autoevaluación y auto declaración de la conformidad
- Certificación del sistema por parte de una organización externa

Alcance de la Norma ISO 50001.-“Es la extensión de actividades, instalaciones y decisiones cubiertas por la organización a través del SGE, que pueden incluir varios límites” (ISO 50001,2011).

El alcance del SGE puede definirse para una sola parte de las actividades llevadas a cabo por la organización

NOTA: El alcance puede incluir la energía relacionada con el transporte

Límites de la Norma ISO 50001.- “Límites físicos o de emplazamiento y/o límites organizacionales tal y como los define la organización” (ISO 50001,2011).

Consideraciones de la Norma ISO 50001, Requisitos legales y otros requisitos.-

La organización debe identificar, implementar y tener acceso a los requisitos legales aplicables y otros requisitos que la organización suscriba relacionados con su uso y consumo de la energía, y su eficiencia energética.

La organización debe determinar cómo se aplican estos requisitos a su uso y consumo de la energía, y a su eficiencia energética, y debe asegurarse que estos requisitos legales y otros requisitos que la organización suscriba se tengan en cuenta al establecer, implementar y mantener el SGen (Sistema de Gestión de Energía). Los requisitos legales y otros requisitos deben revisarse a intervalos definidos (ISO 50001,2011).

1.4. Definición de Términos Básicos

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 eficiencia energética.

- ✓ Ahorro de energía: Esfuerzo por reducir la cantidad de energía para los usos industriales, domésticos e instituciones de gobierno, en especial en el mundo desarrollado.
- ✓ Carga crítica: Es la carga máxima que un sistema dado puede tolerar antes de fallar.
- ✓ Central o planta: Conjunto de instalaciones y equipos cuya función es generar energía eléctrica.
- ✓ Combustible fuel oil: El Fuel Oil es una fracción del petróleo que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada. De aquí se obtiene entre un 30 y un 50 % de esta sustancia. Es el combustible más pesado de los que se puede destilar a presión atmosférica.
 - Está compuesto por moléculas con más de 20 átomos de carbono, y su color es negro. El Fuel Oil se usa como combustible para plantas de energía eléctrica, calderas y hornos.
- ✓ Combustible diésel: Es producido de petróleo y es parecido al gasóleo calefacción.
- ✓ Combustible gas natural: Es una fuente de energía no renovable, ya que se trata de un gas combustible que proviene de formaciones ecológicas que se encuentra conformado por una mezcla de gases que mayormente suelen encontrarse en yacimientos de petróleo, solo, disuelto o asociado con el mismo petróleo y en depósitos de carbón.
- ✓ Combustible GLP: El petróleo licuado o gas LP, es uno de los combustibles alternativos más comunes actualmente utilizados, por su eficiencia y versatilidad.
- ✓ Consumo de combustible: Cantidad de energía utilizada.
- ✓ Consumo específico: Es la cantidad de energía kWh, consumida por BIs producidos, procesados o inyectados, por ej. kWh/BIs de crudo transportado, kWh/BIs de agua inyectada, etc., dependiendo de la unidad de medida de la energía.

- ✓ Combustible crudo: El petróleo es una mezcla en la que coexisten en fases sólida, líquida y gas, compuestos denominados hidrocarburos, constituidos por átomos de carbono e hidrogeno y pequeñas proporciones de hetero-compuestos con presencia de nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales, ocurriendo en forma natural en depósitos de roca sedimentaria. Su color varía entre ámbar y negro. La palabra petróleo significa aceite de piedra.
- ✓ Dióxido de carbono (CO₂): Es un gas incoloro, denso y poco reactivo, forma parte de la composición de la tropósfera (capa de la atmósfera más próxima a la Tierra). Se estima que el aumento de (CO₂) es causado por factores el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y derivados, gas) y las quemas con fines agrícolas lo cual ocasiona cambios climáticos considerables.
- ✓ Demanda: Es la potencia requerida por un sistema o parte de él, promediada en un intervalo de tiempo previamente establecido.
- ✓ Eficiencia energética: Es la optimización de los recursos energéticos para alcanzar los objetivos económicos de la Empresa, se mide a través de indicadores de eficiencia energética, es la proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicio, de bienes o de energía y la entrada de energía.
- ✓ Energía: Electricidad, combustible, vapor, calor, aire comprimido y otros similares.
- ✓ Energía bruta: Es la energía total producida por una unidad de generación.
- ✓ FOE (Fuel Oil Equivalente): Es un combustible equivalente con un Poder Calorífico Inferior constante de 9590 kcal/kg. De esta forma se consigue uniformizar los diferentes combustibles realmente quemados en uno único equivalente de contenido energético constante.

- 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.

✓ Factor de carga: Es la relación entre la energía disponible en un periodo de tiempo (E_d) y la demanda máxima (D_m) multiplicada por las horas totales de ese periodo (horas). Este resultado se multiplica por cien para expresarlo en porcentaje.

$$\blacksquare \quad Fc = \frac{E_d(kWh)}{D_m(kW)*horas} * 100 \quad (2)$$

✓ Factor de planta: Es la relación entre la energía total producida por una unidad o central de generación en un periodo de tiempo (E_p) y la potencia efectiva promedio (P_e) multiplicada por las horas totales de ese periodo (horas). Este resultado se multiplica por cien para expresarlo en porcentaje.

$$\blacksquare \quad Fp = \frac{E_p(kWh)}{P_e(kW)*horas} * 100 \quad (3)$$

- ✓ Indicador de desempeño energético IDEn: Valor cuantitativo o medida del desempeño energético tal como lo defina la organización.
 - Nota: Los IDEns pueden expresarse como una simple medición, un cociente o un modelo más complejo.
- ✓ Medio voltaje: Instalaciones y equipos del sistema de distribución, que operan a voltajes entre 600 voltios y 40 kV.
- ✓ Pérdidas técnicas: Son aquellas producidas debido al efecto Joule por la circulación de corriente en las redes eléctricas.
- ✓ Potencia: Es la rapidez con respecto al tiempo de transferir o transformar energía.

- ✓ Potencia eléctrica: Es la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado ($p = dW / dt$). La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el Vatio. Cuando una corriente eléctrica fluye en un circuito, puede transferir energía al hacer un trabajo mecánico o termodinámico. Los dispositivos convierten la energía eléctrica de muchas maneras útiles, como calor, luz (lámpara incandescente), movimiento (motor eléctrico), sonido (altavoz) o procesos químicos. La electricidad se puede producir mecánicamente por la generación de energía eléctrica, o químicamente, o por la transformación de la luz en las células fotoeléctricas, también se puede almacenar químicamente en baterías.
- ✓ Potencia efectiva: Es la que se puede obtener de una unidad generadora bajo condiciones normales de operación.
- ✓ Potencia instalada: Especificada en la placa de la unidad generadora.
- ✓ Potencia disponible: Potencia efectiva del generador que está operable y puede estar o no considerada en el despacho de carga del Sistema Nacional Interconectado.
- ✓ Sistema de distribución: Conjunto de instalaciones para la distribución de energía, conformado por líneas de sub-transmisión, subestaciones, alimentadores primarios, transformadores de distribución, redes secundarias, acometidas y medidores de energía eléctrica en una determinada región.
- ✓ Transformador: Es una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia.
 - La potencia que ingresa al equipo (transformador ideal, esto es, sin pérdidas), es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño, tamaño, etc.

- ✓ Transmisión: Es el transporte de energía eléctrica por medio de líneas interconectadas y subestaciones de transmisión, que no tienen cargas intermedias.
- ✓ Unidad generadora: Es la máquina rotatoria compuesta de un motor primario, acoplado a un generador eléctrico.
- ✓ Uso de la energía: Forma o tipo de aplicación de la energía
- ✓ Consumo de la energía: Cantidad de energía utilizada
- ✓ Uso significativo de la energía: Uso de la energía que ocasiona un consumo sustancial de la energía y/o que ofrece un potencial considerable para la mejora del desempeño energético.
- ✓ Desempeño energético: Proporción u otra relación cuantitativo entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía.
- ✓ Equipo de gestión de la energía: 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.

A partir del análisis de las bibliografías consultadas se pudo constatar la importancia de la eficiencia energética en las industrias, quedando con ello estructurada la base teórica de la investigación.

Con la base teórica de la investigación, se podrá realizar el diagnóstico de la eficiencia energética de Repsol, con los cuales se definirán los indicadores para su desarrollo y que satisfagan los requisitos de calidad de la norma ISO 5001:2011.

Capítulo 2

Materiales y método

En el presente capítulo se hace referencia a la estrategia de investigación llevada a cabo para este estudio y la respectiva interpretación de datos.

2.1. Diseño de la investigación

Se refiere a los tipos de investigación que se adoptan en la tesis, se recogen estructuralmente los elementos metodológicos generales que describen las distintas etapas llevadas a cabo.

2.1.1. Modalidad de la investigación

Según el Manual de trabajo de Grado de especialización, Maestría y tesis doctorales de la Universidad Experimental Libertador, dispone que:

La modalidad de proyecto Factible, consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viables para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de la organización o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos (UPEL, 2005, p.16).

Se trata de una modalidad de investigación de campo, tomando como base las facilidades de producción NPF (Facilidades de producción norte) y SPF (FACILIDADES DE PRODUCCIÓN SUR) (Facilidades de producción Sur), Wells pads (pozos de producción e inyección de agua y transporte de crudo), lugares donde se desarrollará la obtención de datos para el análisis de la calidad energética en el Bloque 16 de Repsol.

2.1.1.1. De campo

La modalidad de investigación es de campo ya que se estudiará sistemáticamente el problema de la eficiencia energética del Bloque 16 de Repsol con el propósito de descubrir las causas y efectos de la misma, de tal manera que se pueda llegar a plantear una alternativa de solución concreta.

Para ello será necesaria una interacción directa con personal operativo de Repsol como: operadores, supervisores de producción y generación eléctrica, personal de mantenimiento.

Para esta investigación se recogerán datos directos de los equipos de levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo, a través de la toma de datos de operadores de producción y generación, reuniones con operadores, supervisores, personal de mantenimiento, para complementar se acudirán a fuentes secundarias, como reportes de producción diaria TOW, libros y documentos relacionados. Toda la información recolectada será analizada para establecer las conclusiones correspondientes.

- a) Se realizará el balance energético tanto a nivel general o global, como a nivel de sistemas con el fin de identificar las locaciones con el mayor potencial de ahorro en el uso de la energía.
- b) Según la estructura del proceso de producción y al hecho de que la energía eléctrica utilizada en el Bloque 16 es autogenerada, se ha dividido el proceso en los siguientes sistemas por ser los más significativos, en donde se desarrollaran los indicadores de:
 - Levantamiento Artificial.
 - Inyección de Agua.
 - Transporte de Crudo.
- c) El objetivo del diagnóstico de la calidad energética es identificar la cantidad de energía aprovechada como trabajo y las pérdidas generadas en cada uno de los sistemas a través de un Balance de Energía.

2.1.1.2. Criterio de selección de indicadores de desempeño energético

Los IDEns (indicadores de desempeño energético) definidos se enfocan en los sistemas que existe mayor consumo de energía eléctrica, los cuales se listan a continuación:

- ✓ Levantamiento Artificial
- ✓ Inyección de Agua
- ✓ Transporte de Crudo

Estos indicadores de desempeño energético deben ser:

- Relevantes
- Comprensibles
- Predecibles
- Costos efectivos
- Consistentes (entre si y relacionables con la meta)
- Científicamente válidos y verificables
- Precisos y medibles.

2.1.1.3. Bibliográfica - Documental

En la presente investigación existe bibliografía de apoyo: textos, módulos, documentos, páginas de Internet relacionadas a la temática que han servido para sustentar teóricamente el problema de investigación, a través del análisis documental.

2.1.2. Tipo de Investigación

2.1.2.1. Descriptiva.

Se realizará investigación descriptiva al recolectar información relacionada con consumo de combustible de los generadores, medición de parámetros de consumos de energía en equipos de:

- ✓ Levantamiento Artificial
- ✓ Inyección de Agua
- ✓ Transporte de Crudo

2.1.2.2. Investigación 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 parte del diagnóstico de la calidad energética, permitiendo por último elegir indicadores de desempeño energético que permitan mejorar la eficiencia energética en el Bloque 16 de Repsol.

2.1.2.3. Investigaciones *exposfacto*.

Parte de una situación problema o conocimiento presente para luego indagar posibles causas o factores asociados que permiten interpretarla. En este caso la dirección es variable dependiente – variable independiente (*Tovar, 2010*).

En el caso de la presente investigación parto del diagnóstico energético con el objeto de identificar la cantidad real de energía aprovechada en trabajo y las pérdidas generadas en los diferentes sistemas.

2.1.2.4. Experimental.

El análisis se lo ha enfocado inicialmente en la identificación de todos los equipos que usan y consumen energía del Bloque 16, con sus respectivas especificaciones, es decir datos nominales de diseño de cada uno de dichos equipos.

A partir de esta información se realizará un análisis de concentración del uso de la energía por cada sistema.

La segunda fase es el análisis energético partiendo de los consumos reales de energía y las variables de operación de cada equipo y sistema, con el fin de determinar el desempeño energético, metodología que nos permitirá calcular el potencial de ahorro de cada uno de los sistemas.

Relacionando el diagrama del diagnóstico de calidad energética en la figura 3, para el levantamiento de información de campo para el desarrollo del 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.

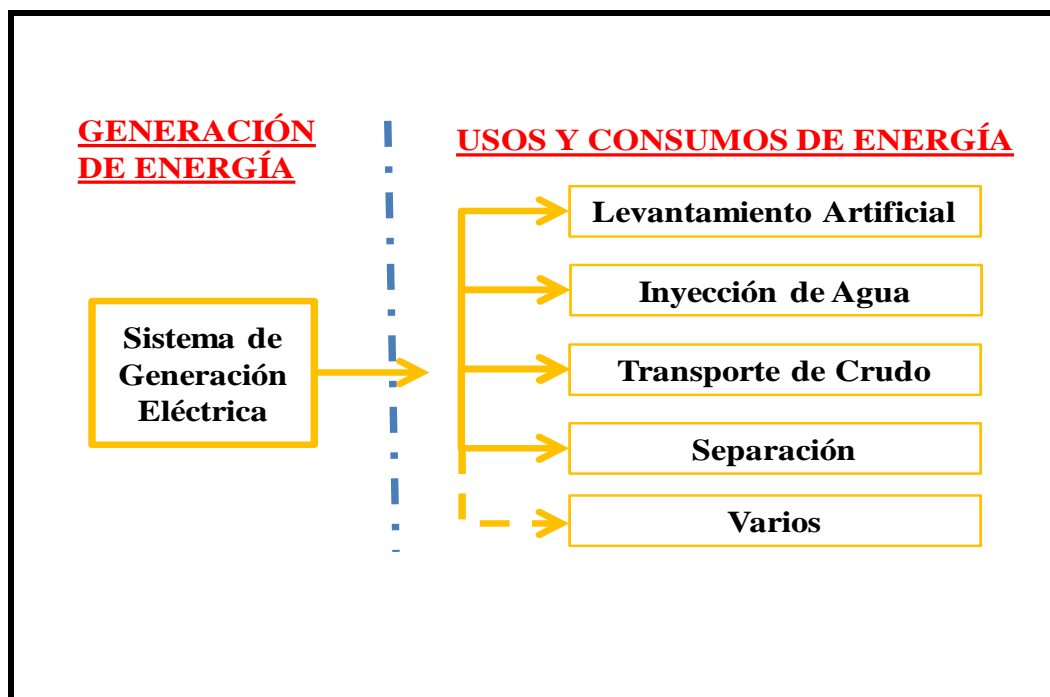


Figura 3. Diagrama de diagnóstico de calidad energética.

2.1.2.5. Operacionalización de variables

Dos variables de interés surgieron de la investigación y se las muestra en la Tabla 2.

Estas fueron las siguientes:

1. El análisis de la eficiencia energética de los sistemas de levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo de Repsol ya que de esta manera se puede identificar los factores que afectan la eficiencia en este sistema

2. El desarrollo de indicadores de desempeño energético de los sistemas de levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo de Repsol debido a que es un factor importante en su desempeño energético y es aquella acción que permite obtener un mejor análisis de la eficiencia energética de estos sistemas.

Tabla 2. *Operacionalización de variables independientes*

| Concepto | Categoría | Indicadores | Ítem | Técnicas | Instrumentos |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------|-----------------|-----------------------|
| Es la relación existente entre la cantidad de energía que consume el sistema versus la cantidad de energía que entrega, tomando en cuenta las pérdidas | Análisis Energético, Levantamiento artificial, Inyección de agua y Transporte de Crudo | Potencia disponible | kW | Mediciones | Medidores de Energía |
| | | Consumo de combustible | gpm | Mediciones | Transmisores de flujo |
| | | Rendimiento | % | Mediciones | Analizador de redes |
| Variable independiente: Análisis de eficiencia energética Equipos de Levantamiento Artificial, Inyección de agua y Transporte de Crudo | | | | | |

Tabla 3. *Operacionalización de variables dependientes*

| Concepto | Categoría | Indicadores | Ítem | Técnicas | Instrumentos |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------|-----------------|---------------------|
| Diligencia de operaciones de diagnóstico, predicción, prevención y corrección necesarios para mantener una turbina funcionando adecuadamente | Desarrollo de indicadores energéticos Levantamiento artificial, Inyección de agua y Transporte de Crudo | Periodicidad | h | Cálculo | Estadística |
| | | Costos | \$ | Cálculo | Estadística |
| | | Rendimiento | % | Cálculo | Estadística |
| Variable dependiente: Plan de Gestión del desarrollo de indicadores energéticos | | | | | |

2.2. Población y muestra

El bloque 16 de Repsol cuenta con personal capacitado en operaciones, mantenimiento y supervisores con la capacidad suficiente de dar soluciones a problemas que se presenten tanto en mantenimiento como en la operación de los equipos, lo cual enmarca la población en estudio para la aplicación en una primera etapa de la técnica de encuesta.

La encuesta se enfocará a operadores y supervisores de cada área de generación y producción, y los resultados de la consulta a partir de entrevistas, una informal o no estructurada.

Otras de las técnicas empleadas fue la observación participante porque resulta especialmente importante, al permitir observar a las personas interactuando y desarrollando sus labores de manera natural.

Otras de las técnicas que se empleó fue grupo focal, aprovechando que los operadores de los equipos de generación eléctrica se reúnen diariamente para tratar asuntos operacionales, se utilizó este escenario para obtener información relevante para la investigación.

La generación en Repsol Ecuador está conformada por 6 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 demandada diaria.

La información obtenida será de datos nominales de placa de los equipos de levantamiento artificial, bombas de inyección de agua y transporte de crudo.

2.2.1. Delimitación de la zona de estudio

Existen instalaciones como son: NPF (Facilidades de Producción Norte), SPF (Facilidades de Producción sur), , Estación de Bombeo Shushufindi y Ramal de Entrega de

Crudo (Lago Agrio), que se ubican fuera de las áreas de concesión de REPSOL como son el Bloque 16, Campo Tivacuno y Campo Capirón.

2.2.2. Fuentes de información

Para el desarrollo del presente trabajo se establecieron las siguientes fuentes de información:

- Observación de Campo a fin de determinar las condiciones en las cuales se desarrolla el proceso y poder realizar la propuesta en base a ello.
- Reportes diarios de producción TOW

COORDENADAS BLOQUE 16

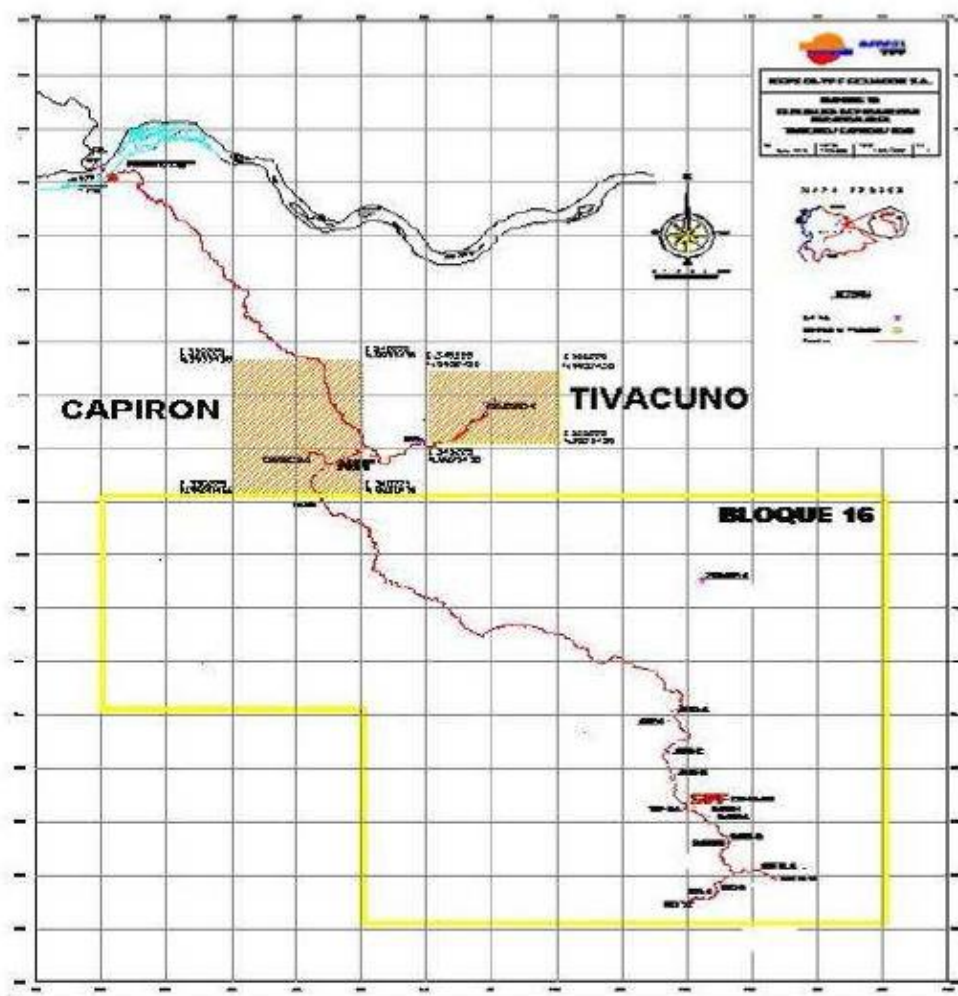


Figura 4. Ubicación de Repsol en el Ecuador, fuente mapas elaborados por Repsol

- Documentación técnica en la web que será una fuente de consulta especialmente para investigar proyectos similares realizados a nivel mundial.
- Libros y manuales que contengan información sobre turbinas de gas y eficiencia térmica.
- Boletines técnicos a fin de actualizar conocimientos de acuerdo a nuevas publicaciones de los diferentes fabricantes de turbinas en el mundo.

Capítulo 3

Análisis e interpretación de resultados

En el presente capítulo se analizará e interpretará los datos emitidos por los instrumentos mencionados en la metodología de la investigación. Los resultados se enfocarán en determinar la eficiencia energética a la cual están trabajando los sistemas de levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo.

3.1. Balance general de energía de las Operaciones en el Bloque 16 de Repsol

3.1.1. Actividades a desarrollar

- ✓ Realizar el balance de energía de los siguientes sistemas: levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo los cuales conforman el proceso de producción de petróleo.
- ✓ Identificar el nivel de desempeño energético de los sistemas en mención.
- ✓ Identificar las pérdidas de energía en cada sistema.
- ✓ Observar el potencial de ahorro energético ideal en cada sistema y el beneficio que esto representaría para la organización.

3.1.2. Análisis energético

Para ejecutar el análisis energético del proceso de producción de petróleo del Bloque 16, es necesario realizar el balance de energía, identificando 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, se realizará el balance general de energía a nivel de sistemas.

La energía requerida para el proceso de producción de petróleo en el Bloque 16 es autogenerada, este hecho y de acuerdo al proceso de producción descrito en los

documentos de referencia ha permitido agrupar este análisis en varios sistemas, que se describen a continuación:

- ✓ Levantamiento Artificial.
- ✓ Inyección de Agua.
- ✓ Transporte de Crudo.

3.1.3. Consumo Eléctrico Nominal Proceso Producción de Petróleo del Bloque 16.

Para identificar el consumo eléctrico teórico de los sistemas del Bloque 16, se desarrollará el balance general de energía del Bloque 16 a partir de datos nominales de los equipos.

3.1.3.1. Levantamiento de información

Para el cálculo, se utilizarán las especificaciones técnicas de los equipos que conforman cada sistema y 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.

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

3.1.3.2. Consideraciones del cálculo

1. Se considera 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.
2. Se ha corregido el consumo eléctrico de los equipos que operan a frecuencias diferentes a la especificada como nominal. Esto se aplica principalmente a las bombas electro sumergible. No se han considerado los equipos que se encuentran fuera de servicio o desmontados.

3.1.3.3. Resultados Globales

En la tabla 4 se presentan los resultados globales de los porcentajes de consumos de energía nominales por sistemas usuarios y consumidores de energía del Bloque 16, en los que se evidencia que levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo son los más significativos, los cuales serán analizados.

Tabla 4. *Resultados Globales por Sistema del Consumo Eléctrico Nominal del Bloque 16*

| Sistema | % Consumo | MW-Día |
|--------------------------|------------------|---------------|
| Levantamiento artificial | 48,29 | 47,45 |
| Inyección Agua | 47,58 | 46,75 |
| Transporte. Crudo | 3,61 | 3,54 |
| Separación | 0,52 | 0,51 |
| Total | 100 | 98,25 |

En cuanto al sistema de levantamiento artificial se evidencia como el mayor consumidor de energía eléctrica en un 48,3% que equivale alrededor de 47,4 MW-Día, en último lugar al sistema de separación en 0,54% y 0,51 MW-Día, este sistema no será motivo de análisis por su porcentaje y consumo de energía muy bajo.

Tabla 5. *Resultados globales por sistema y área del consumo nominal del Bloque 16*

| Sistema | % Consumo | MWh-Día |
|------------------------------|------------------|----------------|
| Levantamiento Artificial 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 | 0,1 |
| Total | 100 | 98,24 |

En la tabla 5 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 y se puede evidenciar el consumo de energía por facilidades de producción en el cual el mayor consumo se representa en levantamiento artificial en la zona sur.

3.1.3.4. Resultados de Consumo Nominal Zona Sur

En el presente punto se compilan los datos de los sistemas ubicados en la zona sur del Bloque 16, se presentan los resultados en porcentajes por cada sistema.

Tabla 6. Resultados consumo nominal por sistemas, zona sur

| Sistema zona sur (74,83 % del consumo total) | % Consumo | MWh-DÍA |
|-----------------------------------------------------|------------------|----------------|
| Levantamiento artificial sur | 51,86 | 38,81 |
| Inyección agua sur | 46,34 | 34,68 |
| Transporte crudo sur | 1,25 | 0,93 |
| Separación | 0,55 | 0.41 |
| Total Sur | 100 | 74,83 |

En la tabla 6 se presentan los resultados globales de los porcentajes de consumos de energía por sistemas usuarios y consumidores de energía de la zona sur, el cual se evidencia el de mayor consumo el sistema de levantamiento artificial.

Tabla 7. Resultados Consumo Nominal Sistema de Levantamiento Artificial, Zona Sur

| LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL ZONA SUR (38,81% 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 | 38,81 |

En la tabla 7 se presentan los resultados de los porcentajes de consumos de energía en el sistema de levantamiento artificial de la zona sur con el mayor consumo en la locación de Iro A.

Tabla 8. *Resultados Consumo Nominal del Sistema de Inyección de Agua por Locación, Zona Sur*

| Inyección de agua sur (35,67% del consumo total) | | % Consumo | MWh-DÍA |
|---------------------------------------------------------|---------|------------------|----------------|
| Zona sur | | | |
| Bombas Booster | | 5,93 | 4,44 |
| Bombas Inyección Agua Intermedia | | 38,84 | 13,88 |
| | AMO A | 14,06 | 5,02 |
| | AMO B | 8,42 | 3,01 |
| | DAIMI A | 6,83 | 2,44 |
| Bombas de Inyección de alta presión | GINTA A | 3,7 | 1,32 |
| | GINTA B | 1,72 | 0,62 |
| | IRO 01 | 3,6 | 1,29 |
| | IRO A | 3,31 | 1,18 |
| | WIP | 10,65 | 3,80 |
| Total Sur | | 97,07 | 34,68 |

En la tabla 8 se presentan los resultados de los porcentajes de consumos de energía en el sistema de inyección de agua de la zona sur con el de mayor consumo bombas inyección agua intermedia.

3.1.3.5. *Resultados de Consumo Nominal Zona Norte*

En el presente punto se compilan los datos de los sistemas ubicados en la zona Norte del Bloque 16, se presentan los resultados en porcentajes por cada sistema.

Tabla 9. *Resultados Consumo Nominal por Sistemas, Zona Norte*

| Sistemas norte (22,07% del consumo total) | | % Consumo | MWh-DIA |
|--------------------------------------------------|--|------------------|----------------|
| Levantamiento artificial zona norte | | | |
| Inyección Agua | | 54,69 | 12,07 |
| Transporte Crudo | | 5,71 | 1,26 |
| Separación | | 0,47 | 0,1 |
| Total Norte | | 100 | 22,07 |

En la tabla 9 se presentan los resultados de los porcentajes de consumos de energía en el proceso de producción de la zona norte con el de mayor consumo en levantamiento artificial.

Tabla 10. *Resultados consumo nominal sistema de levantamiento artificial por locación, zona norte*

| Sistema levantamiento artificial zona norte (8,64% del consumo total) | % Consumo | MWh-DÍA |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------|
| Capiron 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 | 8,64 |

En la tabla 10 se presentan los resultados de los porcentajes de consumos de energía en el proceso de levantamiento artificial de la zona norte con el de mayor consumo en la locación de Capiron.

Tabla 11. *Sistema inyección de agua Zona Norte*

| Sistema inyección de agua zona norte | % Consumo | MWh-DIA |
|---------------------------------------------|------------------|----------------|
| Bombas Booster | 5,1 | 0,68 |
| Bombas Inyección Agua Intermedia | 35,54 | 4,73 |
| | P-1079A | 7,73 |
| Bombas de Inyección de alta presión | P-1079B | 7,73 |
| | BOGI | 31,77 |
| | TIVACUNO | 2,87 |
| Total | 90,73 | 12,07 |

En la tabla 11 se presentan los resultados de los porcentajes de consumos de energía en el sistema de inyección de agua de la zona norte con el de mayor consumo bombas inyección agua intermedia.

3.1.4. Balance energético de los sistemas del Bloque 16.

El resumen del uso de la energía eléctrica por cada uno de los sistemas o usuarios del Bloque 16 se presenta en la tabla 12, los cuales representan los consumos de energía eléctrica de los equipos por cada sistema como son levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo en cada locación, es decir las locaciones de Sur, Norte y Shushufindi (SSFD).

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.

Tabla 12. Consumo eléctrico de usos y consumos por sistema y locación

| Sistema (MWh-Día) | | | | |
|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Locación | Levantamiento artificial | Inyección de agua | Transporte de crudo | Total Locación |
| Sur | 41,1 | 32,02 | 0,93 | 74,46 |
| Norte | 8,7 | 10,03 | 1,26 | 20,09 |
| SSFD | 0 | 0 | 1,34 | 1,34 |
| Total Sistema | 49,8 | 42,05 | 3,53 | 95,89 |

En la tabla 12 se presentan los consumos de energía eléctrica de usos y consumos por sistema y locación siendo el de levantamiento artificial de la zona sur el de mayor consumo.

Tabla 13. Balance de Consumo Energético Eléctrico de usos y consumos

| Sistema | Área | Locación | Consumo (MW-Día) | Trabajo Realizado (MW-Día) | Pérdidas totales (MW-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 | 34,40 |
| | | IRO B | 2,49 | 0,58 | 1,90 | 23,49 |
| | | IRO 01 | 2,00 | 0,44 | 1,55 | 22,19 |
| | GINTA A | 1,88 | 0,45 | 1,43 | 23,85 | |
| | Norte | CAPIRON | 3,77 | 0,98 | 2,80 | 25,91 |
| | | TIVACUNO | 3,68 | 0,92 | 2,76 | 25,09 |
| | | BOGI | 1,30 | 0,40 | 0,89 | 31,01 |
| TOTAL | | | 49,87 | 12,79 | 37,08 | 25,95 |
| 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 | 0,90 | 0,30 | 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 | 0,50 | 60,84 |
| | | CAPIRON | 1,12 | 0,84 | 0,28 | 75 |
| | | NPF | 5,59 | 3,96 | 1,63 | 70,92 |
| | TOTAL | | | 41,96 | 29,25 | 12,71 |
| Transporte Crudo | Sur | SPF | 0,93 | 0,39 | 0,54 | 41,73 |
| | Norte | NPF | 1,26 | 0,51 | 0,75 | 40,78 |
| Crudo | SSFD | SSDF | 1,34 | 1,00 | 0,34 | 74,65 |
| | TOTAL | | | 3,53 | 1,90 | 1,63 |
| TOTAL | | | 95,36 | 43,95 | 51,41 | 51,17 |

En la tabla 13 se evidencian los consumos de energía eléctrica, la energía útil, las pérdidas y los resultados de las eficiencias por locación y sistemas del Bloque 16.

Las pérdidas identificadas o calculadas en la tabla 13 se presentan por lo siguiente:

1. Bajo rendimiento de los equipos
2. Limitaciones tecnológicas
3. Modos de operación
4. Propiedad de los fluidos
5. Disponibilidad de equipos de back up
6. Antigüedad de los equipos

Tabla 14. *Potencial de ahorro por sistemas*

| Sistema | Área | Locación / Subsistema | Potencial de ahorro ideal (MW-Día) | Potencial de ahorro (Barriles anuales) | Potencial de disminución Emisiones CO2 (Ton CO2 anuales) | Potencial de ahorro ideal (USD/año) |
|--------------------------|--------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Levantamiento Artificial | Sur | IRO A | 4,43 | 66.406,07 | 8.675,74 | 2'390.618,37 |
| | | GINTA B | 1,98 | 29.705,90 | 3.880,98 | 1'069.412,41 |
| | | DAIMI B | 1,32 | 19.847,26 | 2.592,98 | 714.501,30 |
| | | DAIMI A | 1,12 | 16.776,66 | 2.191,82 | 603.959,88 |
| | | AMO C | 0,98 | 14.618,55 | 1.909,87 | 526.267,74 |
| | | AMO B | 1,26 | 18.934,27 | 2473,7 | 681.633,67 |
| | | AMO A | 0,75 | 11.225,89 | 1.466,63 | 404.131,92 |
| | | IRO B | 0,91 | 13.618,16 | 1.779,17 | 490.253,86 |
| | | IRO 01 | 0,76 | 11.327,56 | 1.479,91 | 407.792,03 |
| | | GINTA A | 0,68 | 10.172,45 | 1329 | 366.208,07 |
| | Norte | CAPIRON | 1,29 | 19.281,01 | 2519 | 694.116,54 |
| | | TIVACUNO | 1,29 | 19.272,92 | 2517,95 | 693.825,22 |
| | | BOGI | 0,38 | 5.632,43 | 735,86 | 202.767,56 |
| TOTAL | | | 17,13 | 256.819,13 | 33552,61 | 9'245.488,57 |
| Inyección Agua | Sur | AMO A | 0,44 | 6.567,48 | 858,02 | 236.429,33 |
| | | AMO B | 0,28 | 4.168,58 | 544,61 | 150.068,88 |
| | | WIP | 0,12 | 1.842,92 | 240,77 | 66.344,96 |
| | | DAIMI A | 0,03 | 494,74 | 64,64 | 17.810,73 |
| | | IRO 01 | 0 | 61,17 | 7,99 | 2.202,05 |
| | | IRO A | 0,05 | 764,6 | 99,89 | 27.525,67 |
| | | GINTA A | 0,06 | 854,56 | 111,64 | 30.763,99 |
| | | GINTA B | 0,14 | 2.101,31 | 274,53 | 75647,02 |
| | | SPF | 0,9 | 13.483,44 | 1761,57 | 485.403,88 |
| | Norte | BOGI | 0,18 | 2.696,08 | 352,23 | 97.058,76 |
| | | CAPIRON | 0 | 0 | 0 | \$0.00 |
| | | NPF | 0,23 | 3.419,3 | 446,72 | 123094,8 |
| | TOTAL | | | 2,43 | 36.454,17 | 4.762,62 |
| Transporte Crudo | Sur | SPF | 0,31 | 4.638,75 | 606,04 | 166995,01 |
| | Norte | NPF | 0,43 | 6.464,22 | 844,53 | 232.711,74 |
| | SSFD | SSFD | 0 | 70,31 | 9,19 | 2531,28 |
| | TOTAL | | | 0,64 | 9.555,81 | 1.248,44 |
| TOTAL | | | 24,59 | 368.644,8 | 48.162,29 | 10'960.076,67 |

3.1.6. Resumen del Cálculo de Potencial de Ahorro de energía en el Bloque 16

Con la información entregada se representa en la tabla 15, el resumen global de los potenciales de ahorro de energía del bloque 16 por sistemas:

Tabla 15. *Potencial de Ahorro Global del Bloque 16 por Sistemas*

| Sistema | Potencial de ahorro ideal (MW-Día) | Potencial de ahorro (Barriles anuales) | Potencial de disminución Emisiones CO2 (Ton CO2) anuales | Potencial de ahorro ideal (USD/año) |
|----------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Levantamiento | 17,13 | 256 819,13 | 33 552,61 | \$9 245.488,56 |
| Inyección | 2,43 | 36 454,17 | 4 762,62 | \$1 312.350,08 |
| Transporte | 0,64 | 9 555,81 | 1 248,44 | \$ 344.009,16 |
| TOTAL | 20,20 | 302 829.11 | 39563.67 | \$10 901 847,80 |

Balance de Energía Global del Bloque 16

Recopilada la información presentada en las tablas anteriores se elabora el grafico N° 9 diagrama SANKEY, que representa el balance global de energía del Bloque 16.

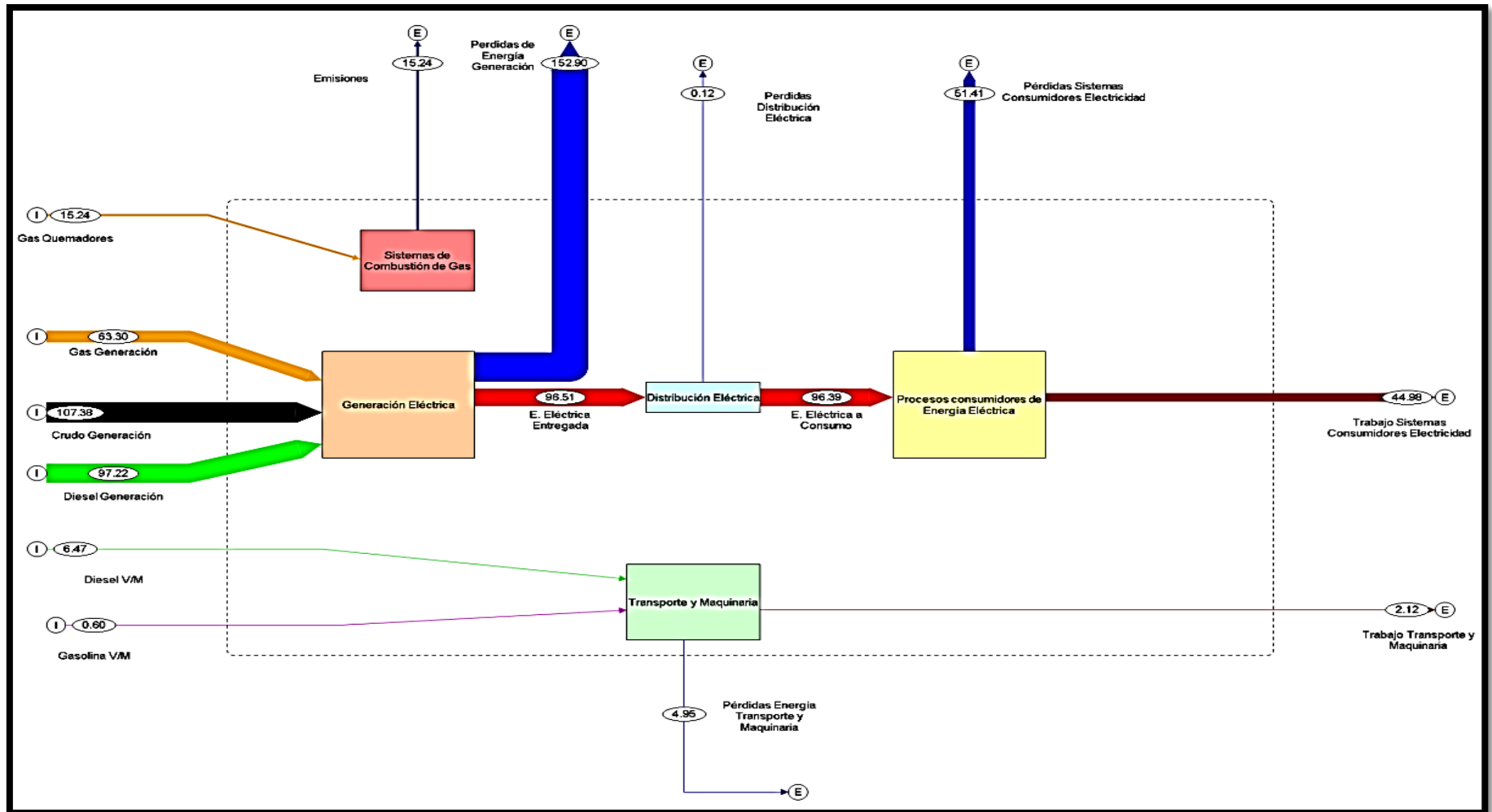


Figura 5. Diagrama SANKEY de Flujo de la Energía en el Bloque 16 (expresado en MW-Día)

3.1.7. Diagnóstico de la Eficiencia Energética de las Operaciones en el Bloque 16

Los usos y consumos de energía incluyen a todos los sistemas de levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo 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, la misma que es utilizada para el desarrollo del diagnóstico de la eficiencia energética, los sistemas identificados son:

1. Levantamiento artificial
2. Inyección de Agua de Formación
3. Transporte de Crudo

3.1.8. Planteamiento del Diagnóstico de la Eficiencia Energética

Partiendo de que la función de la gran mayoría de los sistemas de usos y consumos de energía, son transporte de fluidos, donde está involucrado el trabajo de bombas y flujos de fluidos a través de tuberías el análisis del desempeño energético se realiza con el siguiente modelo:

Consumo Energía = Trabajo Bomba + Pérdidas.

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

$$\text{Trabajo Bomba} = P_H * t \quad (4)$$

Dónde: P_H = Potencia hidráulica de la bomba (MW)

t = Tiempo de operación (días)

El cálculo de la potencia hidráulica se detalla en el Anexo 9.

3.1.9. Cálculo del Potencial de Ahorro en la Operación de Bombas

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

$$\mathbf{P. Ahorro = Consumo Energía * \frac{(\epsilon_{Nom} - \epsilon_{Real})}{100}} \quad (5)$$

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

ϵ_{Real} = Eficiencia real del equipo (%).

ϵ_{Nom} = Eficiencia nominal media de los equipos (%).

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

3.1.10. Diagnóstico de la eficiencia energética del sistema de levantamiento artificial

Para el análisis, los datos utilizados fueron los recabados en la medición puntual periódica de campo de variables operativas

Consideraciones del Cálculo

Para el cálculo, se han tomado las siguientes consideraciones:

1. Por tratarse de una medición puntual, se asumen que las lecturas permanecieron constantes durante la medición
2. Se calculó el consumo de energía eléctrica a partir de datos de voltaje y de corriente eléctrica disponibles en el reporte.
3. Se asumió que los pozos tienen a una profundidad promedio de 6100 ft, desde la bomba al cabezal de superficie.
4. Se asumió que los tubing de cada pozo poseen un diámetro de 4.5 in. si éste transporta un flujo de fluido mayor a 6200 BFPD. Para los demás pozos, se tomó como diámetro de tubing 3.5 in.

Se asume que las propiedades del fluido (mezcla crudo, agua de formación y gas) son próximas a las del agua.

5. No se considera la fase gas en el cálculo.
6. Para el cálculo de las pérdidas de fricción, se utilizó el modelo de Hanzen – William.
7. Se calculó la eficiencia de cada equipo como conjunto motor – bomba, es decir que también se consideran las pérdidas de energía eléctrica resultantes en el rendimiento del motor.
8. 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.
9. Las restantes variables de operación de los equipos, como son: presiones y caudales, se han recopilado del informe TOW correspondientes a los días de análisis.

La metodología explicativa para el cálculo de eficiencias de los equipos de este sistema se detalla en el Anexo 9.

En la tabla 16 se presenta y recopila todo el análisis de este sistema y la figura 6 permiten 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%.

Tabla 16. *Potencia de Ahorro Sistema de Levantamiento Artificial*

| Sistema | Área | Locación | Consumo (MW-Día) | Eficiencia media (%) | Trabajo Realizado (MW-Día) | Pérdidas totales (MW-Día) | Potencial de ahorro ideal (MW-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 | 66.406,07 | 8.675,74 | 2'390.618,37 |
| | | GINTA B | 5,94 | 26,66 | 1,58 | 4,36 | 1,98 | 29.705,90 | 3.880,98 | 1'069.412,41 |
| | | DAIMI B | 3,84 | 25,54 | 0,98 | 2,86 | 1,32 | 19.847,26 | 2.592,98 | 714.501,30 |
| | | DAIMI A | 3,23 | 25,34 | 0,82 | 2,41 | 1,12 | 16.776,66 | 2.191,82 | 603.959,88 |
| | | AMO C | 3,22 | 29,72 | 0,96 | 2,26 | 0,98 | 14.618,55 | 1.909,87 | 526.267,74 |
| | | AMO B | 3,13 | 19,65 | 0,62 | 2,51 | 1,26 | 18.934,27 | 2.473,7 | 681.633,67 |
| | | AMO A | 2,92 | 34,4 | 1,01 | 1,92 | 0,75 | 11.225,89 | 1.466,63 | 404.131,92 |
| | | IRO B | 2,49 | 23,49 | 0,58 | 1,90 | 0,91 | 13.618,16 | 1.779,17 | 490.253,86 |
| | | IRO 01 | 2,00 | 22,19 | 0,44 | 1,55 | 0,76 | 11.327,56 | 1.479,91 | 407.792,03 |
| | | GINTA A | 1,88 | 23,85 | 0,45 | 1,43 | 0,68 | 10.172,45 | 1329 | 366.208,07 |
| | Norte | CAPIRON | 3,77 | 25,91 | 0,98 | 2,80 | 1,29 | 19.281,01 | 2519 | 694.116,54 |
| | | TIVACUNO | 3,68 | 25,09 | 0,92 | 2,76 | 1,29 | 19.272,92 | 2.517,95 | 693.825,22 |
| | | BOGI | 1,3 | 31,01 | 0,4 | 0,89 | 0,38 | 5.632,43 | 735,86 | 202.767,56 |
| | TOTAL | | | 49,87 | 25,95 | 12,79 | 37,08 | 17,13 | 256819,13 | 33.552,61 |

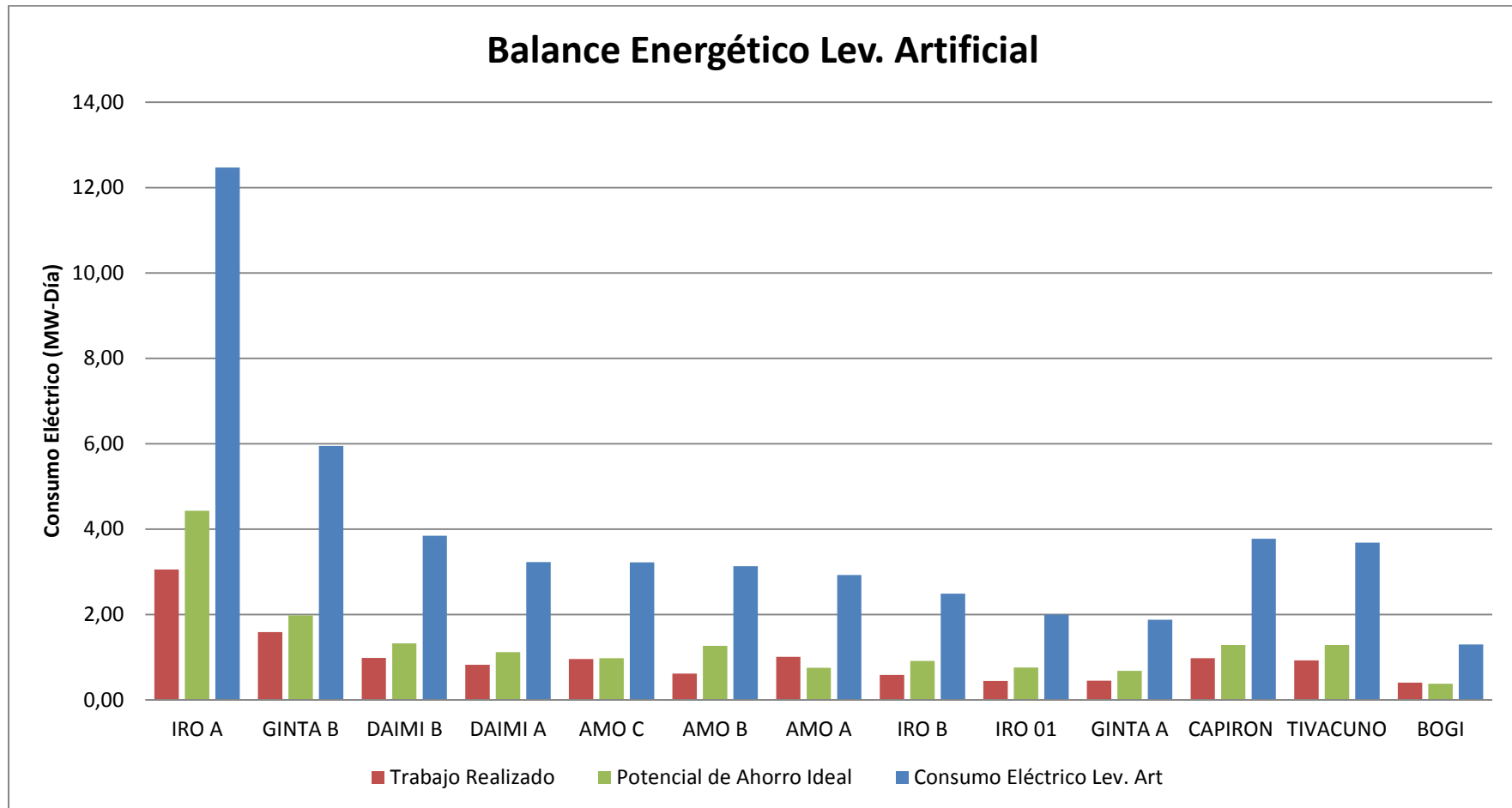


Figura 6. Balance energético Sistema de Levantamiento Artificial

3.1.11. Diagnóstico de la eficiencia energética del sistema de inyección de agua de formación.

Para el sistema de inyección de agua de formación, se ha realizado el balance en función al rendimiento de las bombas booster, intermedias y de alta presión en las locaciones que aplique. La información requerida para este caso se tomó de las siguientes fuentes:

1. Datos de operaciones de los equipos entregados por el personal de campo.
2. P&IDs (Datos nominales de bombas del sistema de inyección de agua).
3. Los datos de consumo eléctrico de las bombas de media y alta presión son los desplegados en el sistema SCADA de procesos.

Consideraciones del Cálculo

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

1. Los datos corresponden al mismo período en el que se realizó el recorrido de medición de energía eléctrica de las bombas electro-sumergibles.
2. El caudal de operación de las bombas se calculó en función de la cantidad total de agua que se inyecta en los pozos alineados al equipo.
3. Esto se realiza en sistemas que la configuración de montaje de las bombas están en paralelo.
4. Se asume que no existe flujo preferencial en ninguna bomba en particular del agrupamiento.
5. 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.

6. Los consumos eléctricos de 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 (FACILIDADES DE PRODUCCIÓN SUR).
7. 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.
8. El cálculo del potencial de ahorro se realizó en base a la eficiencia nominal promedio de equipos de bombeo de 75%.
9. La eficiencia calculada en estos sistemas corresponden al conjunto motor bomba.

La metodología explicativa para el cálculo de eficiencias de los equipos de este sistema se detalla en el Anexo 13

En la tabla 20 y figura 7 se presentan y recopila todo el análisis de este sistema

La tabla 21 se presenta de forma específica los datos de los equipos del sistema de inyección de agua en los que se indican los equipos en que se tomó el consumo de energía nominal en las zonas norte y sur respectivamente.

Tabla 17. Matriz De Cálculo de Eficiencia Sistema de Inyección de Agua, zona norte

| PLANIFICACION ENERGETICA, BALANCE ENERGETICO | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|--------|---------|----------|---------|----------|---------|------------|------------|--------------|
| Cálculo de eficiencia de equipos en el proceso de inyección de agua Zona Norte NPF | | | | | | | | | | | |
| LOCACION | SERVICIO | TAG | Caudal | Presión | Presión | THD | Densidad | Energía | Frecuencia | *Potencia | **Eficiencia |
| | | | Q | de | de | (Total | | Ingreso | | Hidráulica | Combinada |
| | | | BPD | succión | descarga | Dinamic | lb/ft3 | a Motor | Hz | (Ph) | (ηc) |
| | | | | PSI | PSI | head) | | (P) | | kW | % |
| NPF | BOMBA BOOSTER | P-1121-A | 47211 | 11 | 104 | 214.83 | 62.4 | 74.5 | 60 | 55.74 | 74.82 |
| | | P-1121-B | 118080 | 11 | 93 | 189.42 | 62.4 | 187 | 60 | 122.92 | 65.73 |
| | | P-1121-C | 118080 | 11 | 105 | 217.14 | 62.4 | 187 | 60 | 140.91 | 75.35 |
| | | P-1121-D | 47211 | 11 | 104 | 214.83 | 62.4 | N/R | 60 | 55.74 | |
| | BOMBA INTEMEDIA | P-1119-A | 47211 | 60 | 1200 | 2633.4 | 62.4 | 932 | 60 | 683.25 | 73.31 |
| | | P-1119-B | 117737 | 65 | 1300 | 2852.85 | 62.4 | 2235 | 60 | 1845.93 | 82.59 |
| | | P-1119-C | OFF | | | 0 | 62.4 | | | | |
| | | P-1119-D | 49714 | 79 | 1235 | 2670.36 | 62.4 | 1118 | 60 | 729.58 | 65.26 |
| | ALTA PRESIÓN | P-1079-A | 38000 | 1225 | 2650 | 3291.75 | 62.4 | 933 | 60 | 687.44 | 73.68 |
| | | P-1079-B | OFF | | | 0 | 62.4 | | | | |

Tabla 18. *Matriz De Cálculo de Eficiencia Sistema de Inyección de Agua, zona sur*

| PLANIFICACION ENERGETICA, BALANCE ENERGETICO | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------|-------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------|--------------------------------------|------------|---------------------------------|-------------------------------------|--|
| Cálculo de eficiencia de equipos en el proceso de inyección de agua SPF | | | | | | | | | | | | |
| LOCACION | SERVICIO | TAG | Caudal Q | Presión de succión | Presión de descarga. | THD (Total Dinamic head) | Densidad | Energía Ingreso a Motor (P) | Frecuencia | *Potencia Hidráulica (Ph) | **Eficiencia Combinada (ε c) | |
| | | | BPD | PSI | PSI | Ft | lb/ft3 | kW | Hz | kW | % | |
| SPF | BOMBA BOOSTER | P-2121-B | 118080 | 2 | 96 | 217.14 | 62.4 | 186.4 | 60 | 140.91 | 75.59 | |
| | | P-2121-C | 118080 | 2 | 110 | 249.48 | 62.4 | 186.4 | 60 | 161.9 | 86.85 | |
| | | P-2121-D | OFF | OFF | OFF | | | | | | | |
| | | P-2121-E | 127680 | 5 | 110 | 242.55 | 62.4 | 372.8 | 60 | 170.19 | 45.65 | |
| | | P-2121-F | 127680 | 5 | 110 | 242.55 | 62.4 | 372.8 | 60 | 170.19 | 45.65 | |
| | | P-2121-G | 226286 | 3 | 110 | 247.17 | 62.4 | 372.8 | 60 | 307.38 | 82.45 | |
| | | P-2119-A | 47211 | OFF | OFF | | | | | | | |
| | P-2119-B | 117737 | 100 | 1150 | 2425.5 | 62.4 | 2237 | 60 | 1569.41 | 70.16 | | |
| | P-2119-C | OFF | OFF | OFF | | | | | | | | |
| | P-2119-D | | 110 | 1140 | 2379.3 | 62.4 | | 60 | | | | |
| | P-2119-E | 118629 | 98.2 | 1108 | 2332.64 | 62.4 | 2237 | 60 | 1520.76 | 67.98 | | |
| | P-2119-H | OFF | OFF | OFF | | | | | | | | |
| | P-2119-I | 46285 | 110 | 1090 | | | 1118 | 60 | | | | |
| P-2119-J | OFF | OFF | OFF | | | | | | | | | |

Tabla 19. *Bombas de Inyección de Agua en las que se reporta el Consumo Nominal de Energía, Zona Sur*

| Locación | Función | Tag | Consumo Eléctrico (KW-Día) | Observaciones |
|-------------------------------------------------|---------------------------|----------|-------------------------------|-----------------|
| SPF (FACILIDADES DE PRODUCCIÓN SUR) | Bombas Booster Agua | P-2121-B | 186,40 | Consumo Nominal |
| | | P-2121-C | 186,40 | Consumo Nominal |
| | | P-2121-D | 372,00 | Consumo Nominal |
| | | P-2121-E | 372,00 | Consumo Nominal |
| | | P-2121-F | 372,00 | Consumo Nominal |
| | | P-2121-G | 372,00 | Consumo Nominal |
| | Bombas Intermedias | P-2119-C | 2.237,00 | Consumo Medido |
| | | P-2119-D | 2.215,00 | Consumo Medido |
| | | P-2119-E | 2.237,00 | Consumo Medido |
| | | P-2119-H | 2.237,00 | Consumo Medido |
| | | P-2119-K | 2.219,00 | Consumo Medido |
| | | P-2119-L | 2.237,00 | Consumo Medido |
| AMO A | Bombas Alta Presión | P-2079-I | 949,00 | Consumo Medido |
| | | P-2079-J | 1.048,00 | Consumo Medido |
| | | P-2079-M | 1.081,00 | Consumo Medido |
| | | P-2079-U | 1.043,00 | Consumo Medido |
| AMO B | Bombas Alta Presión | P-2079-G | 1.061,00 | Consumo Medido |
| | | P-2079-H | 1.069,00 | Consumo Medido |
| | | P-2079-L | 1.020,00 | Consumo Medido |
| WIP S1 | Bombas Alta Presión | P-2079-A | 1.118,00 | Consumo Medido |
| | | P-2079-B | 118,00 | Consumo Medido |
| | | P-2079-C | 1.036,00 | Consumo Medido |
| | | P-2079-D | 913,00 | Consumo Medido |
| | | P-2079-E | 1.118,00 | Consumo Medido |
| | | P-2079-Q | 1.056,00 | Consumo Medido |
| | | P-2079-O | 1.074,00 | Consumo Medido |
| DAIMI A | Bombas de Alta Presión | P-2079-P | 1.064,00 | Consumo Medido |
| | | P-2079-R | 1.057,00 | Consumo Medido |
| IRO 01 | Bombas Alta Presión | P-2079-S | 1.036,00 | Consumo Medido |
| IRO A | Bombas Alta Presión | P-2079-K | 1.223,00 | Consumo Medido |
| GINTA A | Bombas Alta Presión | P-2079-T | 1.210,00 | Consumo Medido |
| GINTA B | Bombas Alta Presión | P-2079-V | 1.220,00 | Consumo Medido |
| | | P-9111 | 481,00 | Consumo Medido |

Tabla 20. *Bombas de Inyección de Agua en las que se reporta el Consumo Nominal de Energía, Zona Norte*

| Locación | Función | Tag | Consumo Eléctrico | Observaciones |
|----------|---------------------|----------|-------------------|-----------------|
| | | | (KW-Día) | |
| NPF | Bombas Booster Agua | P-1121-A | 74,5 | Consumo Nominal |
| | | P-1121-B | 187 | Consumo Nominal |
| | | P-1121-C | 187 | Consumo Nominal |
| | Bombas Intermedias | P-1119-A | 932 | Consumo Nominal |
| | | P-1119-B | 2.235,00 | Consumo Nominal |
| | | P-1119-C | 2.235,00 | Consumo Nominal |
| | | P-1119-D | 1.118,00 | Consumo Nominal |
| | Bombas Alta Presión | P-1079-A | 932 | Consumo Nominal |
| | | P-1079-B | 932 | Consumo Nominal |
| BOGI | Bombas Alta Presión | P-1950 | 447 | Consumo Medido |
| | | P-1951 | 373 | Consumo Medido |
| | | P-1952 | 447 | Consumo Medido |
| CAPIRON | Bombas Alta Presión | P-1079-C | 1.118,00 | Consumo Medido |
| | | P-1079-E | 1.118,00 | Consumo Medido |
| | | P-1079-F | 1.118,00 | Consumo Medido |

En la Figura 7 y la tabla 20 se pueden observar los resultados de consumo, eficiencia y potenciales de ahorro, por locación donde se disponen equipos de este sistema.

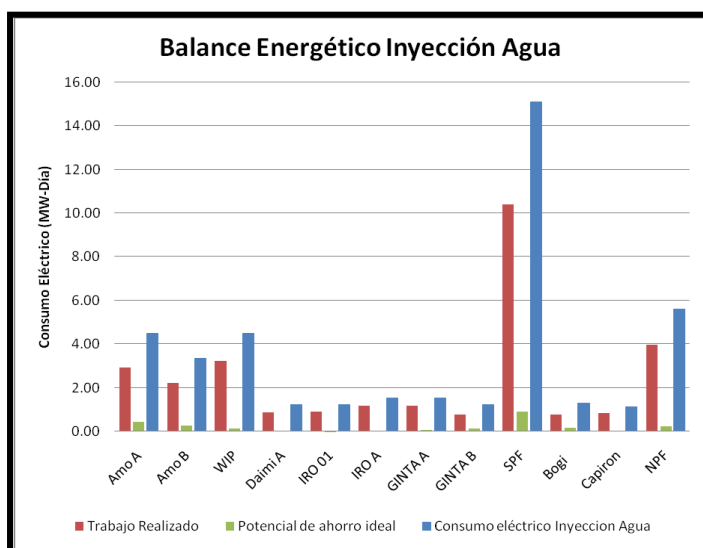


Figura 7. *Balance Energético Sistema de Inyección de Agua.*

Tabla 21. *Potencia de Ahorro Sistema de Inyección de Agua.*

| Sistema | Área | Locación | Consumo (MW-Día) | Eficiencia media (%) | Trabajo Realizado (MW-Día) | Pérdidas totales (MW-Día) | Potencial de ahorro ideal (MW-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 | 65,20 | 2,91 | 1,56 | 0,44 | 6567,48 | 858,02 | \$ 236.429,33 |
| | | AMO B | 3,35 | 66,70 | 2,23 | 1,12 | 0,28 | 4168,58 | 544,61 | \$ 150.068,88 |
| | | WIP | 4,47 | 72,25 | 3,23 | 1,24 | 0,12 | 1842,92 | 240,77 | \$ 66.344,96 |
| | | DAIMI A | 1,2 | 72,25 | 0,87 | 0,33 | 0,03 | 494,74 | 64,64 | \$ 17.810,73 |
| | | IRO 01 | 1,2 | 74,66 | 0,90 | 0,3 | 0 | 61,17 | 7,99 | \$ 2.202,05 |
| | | IRO A | 1,5 | 78,40 | 1,18 | 0,32 | 0,05 | 764,60 | 99,89 | \$ 27.525,67 |
| | | GINTA A | 1,5 | 78,80 | 1,18 | 0,32 | 0,06 | 854,56 | 111,64 | \$ 30.763,99 |
| | | GINTA B | 1,2 | 63,32 | 0,76 | 0,44 | 0,14 | 2.101,31 | 274,53 | \$ 75.647,02 |
| | | SPF | 15,09 | 69,04 | 10,42 | 4,67 | 0,9 | 13.483,44 | 1.761,57 | \$ 485.403,88 |
| | Norte | BOGI | 1,27 | 60,84 | 0,77 | 0,5 | 0,18 | 2.696,08 | 352,23 | \$ 97.058,76 |
| | | CAPIRON | 1,12 | 75,00 | 0,84 | 0,28 | 0 | 0 | 0 | \$ - |
| NPF | | 5,59 | 70,92 | 3,96 | 1,63 | 0,23 | 3.419,30 | 446,72 | \$ 123.094,80 | |
| TOTAL | | | 41,96 | 70,62 | 29,25 | 12,71 | 2,43 | 36.454,17 | 4.762,62 | \$ 1.312.350,1 |

3.1.12. Diagnóstico de la eficiencia energética del sistema de transporte de crudo.

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 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).

3.1.12.1. Consideraciones del Cálculo:

1. Para el cálculo de la eficiencia de las bombas del sistema de transporte de crudo, se ha asumido lo siguiente:
2. Los datos corresponden al mismo período en el que se realizó el recorrido de medición de energía eléctrica de las bombas electro-sumergibles.
3. El caudal de operación de las bombas se 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.
4. Se asume que no existe flujo preferencial en ninguna bomba en particular del agrupamiento.
5. 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 (FACILIDADES DE PRODUCCIÓN SUR), se asume que este valor es igual al cabezal correspondiente.

Tabla 22. Matriz De Cálculo de Eficiencia Sistema de Transporte de Crudo

| BALANCE ENERGETICO | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------|----------|-----------------|---------------|-----------------------------|----------|-----------------------------|------------|---------------------------|-----------------------------|--|
| CALCULO DE EFICIENCIA DE EQUIPOS Y PROCESO DE TRANSPORTE DE CRUDO | | | | | | | | | | | | |
| LOCACION | SERVICIO | TAG | Caudal Q | Presión Inicial | Presión Final | THD (Total Dinamic head) | Densidad | Energía Ingreso a Motor (P) | Frecuencia | *Potencia Hidráulica (Ph) | **Eficiencia Combinada (ηc) | |
| | | | BPD | PSI | PSI | ft | lb/ft3 | kW | Hz | kW | % | |
| PLANTA DE TRATAMIENTO SPF (FACILIDADES DE PRODUCCIÓN SUR) | BOMBA BOOSTER DE CRUDO | P - 2109 A | 10500 | 5 | 96 | 210,21 | 59,3 | 37,28 | 60 | 11,53 | 30,92 | |
| | | P - 2109 E | 15000 | 5 | 110 | 242,55 | 59,3 | 37,28 | 60 | 19 | 50,97 | |
| | BOMBA DE TRANSFER. DE CRUDO | P - 2110 A | | | OFF | OFF | | | | | | |
| | | P - 2110 B | 25050 | 110 | 560 | 1039,5 | 59,3 | 745,47 | 60 | 311,15 | 41,73 | |
| | | P - 2110 F | | | OFF | OFF | | | | | | |
| | | P - 1109 A | 18343 | 8 | 110 | | | 30 | 60 | 22,57 | 75,24 | |
| PLANTA DE TRATAMIENTO NPF | BOMBA BOOSTER DE CRUDO | P - 1109 B | 18343 | 8 | 112 | 240,24 | 60,31 | 30 | 60 | 23,01 | 76,72 | |
| | | P - 1109 C | | OFF | OFF | | | | | | | |
| | | P - 1109 D | | OFF | OFF | | | | | | | |
| | | P - 1109 E | 33806 | 8 | 116 | 249,48 | 60,31 | | | 44,8 | | |
| | | P - 1110 A | 41314 | 110 | 1260 | 2656,5 | 60,31 | 1007 | 60 | 582,97 | 57,89 | |
| OPERACIÓN ESTACION SSFD | BOMBA TRANSFER. DE CRUDO | P - 1611 A | 34560 | 67 | 1240 | 2.709,63 | 60,24 | | 60 | 496,83 | | |
| | | P - 1611 C | 4320 | 67 | 1240 | 2.709,63 | 60,24 | | 60 | 62,10 | | |

La tabla 22 se representa de forma específica los datos de los equipos del sistema de transporte de crudo en los que se indican los equipos en que se tomó el consumo de energía nominal.

Tabla 23. *Bombas de Crudo en las que se reporta Consumo Nominal de Energía*

| Locación | Función | Tag | Consumo | Observaciones |
|----------|---------------|----------|---------|-----------------|
| SPF | Bombas | P-2109-A | 37,28 | Consumo Nominal |
| | Booster Crudo | P-2109-B | 37,28 | Consumo Nominal |
| | Bomba | P-2110-B | 745,47 | Consumo Medido |
| NPF | Bombas | P-1109-A | 30 | Consumo Nominal |
| | Booster Crudo | P-1109-E | 30 | Consumo Nominal |
| | Bomba | P-1110-A | 1007 | Consumo Nominal |
| SSFD | Bombas | P-1611-A | 1118 | Consumo Nominal |
| | Transferencia | P-1611-C | 1118 | Consumo Nominal |

En la figura 9 y la tabla 24 permiten observar los resultados de consumo, eficiencia y potenciales de ahorro, por locación donde se disponen equipos de este sistema de transporte de crudo.

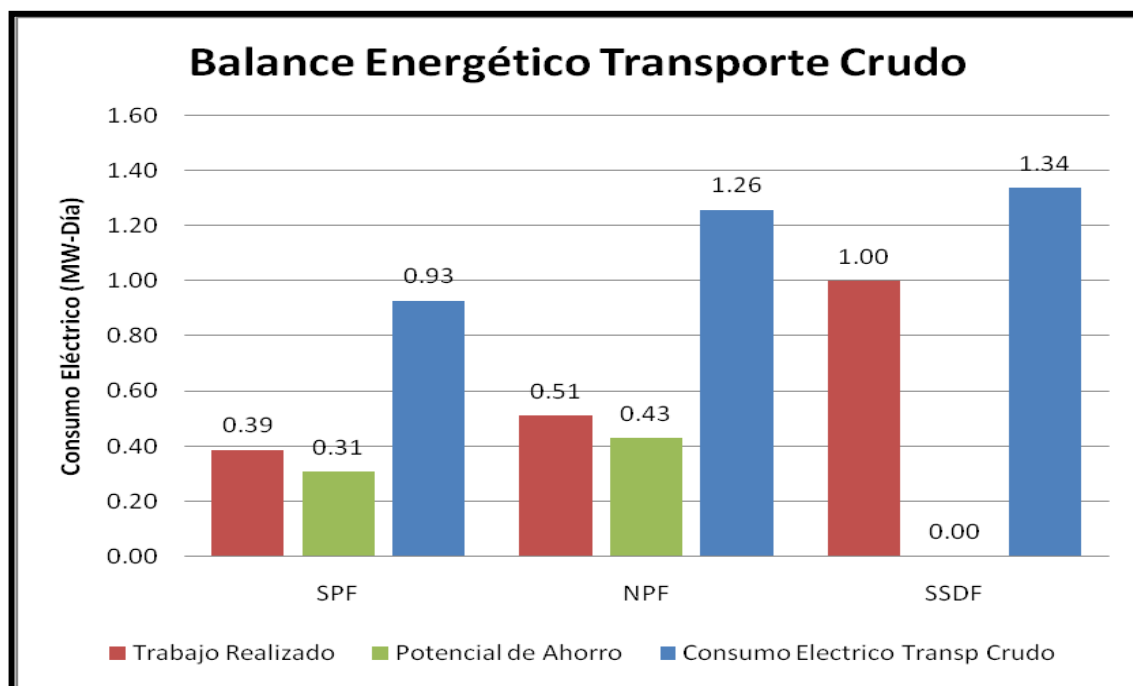


Figura 8. *Balance Energético del sistema de Transporte de Crudo*

Tabla 24. *Potencia de Ahorro Sistema de Transporte de Crudo*

| Sistem | Área | Locación | Consumo (MW-Día) | Eficiencia media (%) | Trabajo Realizado (MW-Día) | Pérdidas totales (MW-Día) | Potencial de ahorro ideal (MW-Día) | Potencial de ahorro (Barriles anuales) | Potencial de ahorro (Ton CO2 anuales) | Potencial de ahorro ideal (USD/año) |
|--------------|-------|----------|------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Transp. | Sur | SPF | 0,93 | 41,7 | 0,39 | 0,54 | 0,31 | 4638,75 | 606,04 | \$166.995,0 |
| | Norte | NPF | 1,26 | 40,7 | 0,51 | 0,75 | 0,43 | 6464,22 | 844,53 | \$232.711,7 |
| Crudo | SSF | SSDF | 1,34 | 74,6 | 1 | 0,34 | 0 | 70,31 | 9,19 | \$ |
| TOTAL | | | 3,53 | 56,9 | 1,9 | 1,63 | 0,64 | 9.555,81 | 1.248,44 | \$344.009,1 |

3.1.13. Diagnóstico de la eficiencia energética del Bloque 16, por sistema y locación.

A partir de la información mostrada en los puntos anteriores del presente documento y tomando en cuenta las consideraciones mencionadas en la revisión energética de cada sistema, se ha calculado la proporción de los consumos de energía del Bloque 16.

En la tabla 29 se presentan los porcentajes reales del consumo energético de cada sistema y su valor en energía:

Tabla 25. *Proporciones de Consumo Real de Energía de los sistemas del Bloque 16*

| Sistema | Consumo Energético Real (MW-Día) | % Consumo energético |
|--------------------------|----------------------------------|----------------------|
| Levantamiento Artificial | 49,87 | 48,45 |
| Inyección Agua | 41,96 | 40,76 |
| Varios | 7,07 | 6,87 |
| Transporte Crudo | 3,53 | 3,42 |
| Separación | 0,51 | 0,5 |
| TOTAL | 102,94 | 100 |

Tabla 26. Balance energético de usos y consumos detallado por sistema y locación.

| Sistema | Área | Locación | Consumo (MW-Día) | Eficiencia media (%) | Trabajo Realizado (MW-Día) | Pérdidas totales (MW-Día) | Potencial de ahorro ideal (MW-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 | 66.406,07 | 8675,74 | 2'390.618,37 |
| | | GINTA B | 5,94 | 26,66 | 1,58 | 4,36 | 1,98 | 29.705,9 | 3880,98 | 1'069.412,41 |
| | | DAIMI B | 3,84 | 25,54 | 0,98 | 2,86 | 1,32 | 19.847,26 | 2592,98 | 714.501,3 |
| | | DAIMI A | 3,23 | 25,34 | 0,82 | 2,41 | 1,12 | 16.776,66 | 2191,82 | 603.959,88 |
| | | AMO C | 3,22 | 29,72 | 0,96 | 2,26 | 0,98 | 14.618,55 | 1909,87 | 526.267,74 |
| | | AMO B | 3,13 | 19,65 | 0,62 | 2,51 | 1,26 | 18.934,27 | 2473,7 | 681.633,67 |
| | | AMO A | 2,92 | 34,4 | 1,01 | 1,92 | 0,75 | 11.225,89 | 1466,63 | 404.131,92 |
| | | IRO B | 2,49 | 23,49 | 0,58 | 1,9 | 0,91 | 13.618,16 | 1779,17 | 490.253,86 |
| | | IRO 01 | 2 | 22,19 | 0,44 | 1,55 | 0,76 | 11.327,56 | 1479,91 | 407.792,03 |
| | | GINTA A | 1,88 | 23,85 | 0,45 | 1,43 | 0,68 | 10.172,45 | 1329 | 366.208,07 |
| | Norte | CAPIRON | 3,77 | 25,91 | 0,98 | 2,8 | 1,29 | 19.281,01 | 2519 | 694.116,54 |
| | | TIVACUNO | 3,68 | 25,09 | 0,92 | 2,76 | 1,29 | 19.272,92 | 2517,95 | 693825,22 |
| | | BOGI | 1,3 | 31,01 | 0,4 | 0,89 | 0,38 | 5.632,43 | 735,86 | 202.767,56 |
| TOTAL | | 49,87 | 25,65 | 12,79 | 37,08 | 17,13 | 256819,13 | 33.552,61 | 9245488,56 | |

Tabla 27. Balance energético de usos y consumos detallado por sistema y locación.

| Sistema | Área | Locación | Consumo (MW-Día) | Eficiencia media (%) | Trabajo Realizado (MW-Día) | Pérdidas totales (MW-Día) | Potencial de ahorro ideal (MW-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 | 236.429,33 |
| | | AMO B | 3,35 | 66,7 | 2,23 | 1,12 | 0,28 | 4168,58 | 544,61 | 150.068,88 |
| | | WIP | 4,47 | 72,25 | 3,23 | 1,24 | 0,12 | 1842,92 | 240,77 | 66.344,96 |
| | | DAIMI A | 1,20 | 72,25 | 0,87 | 0,33 | 0,03 | 494,74 | 64,64 | 17.810,73 |
| | | IRO 01 | 1,20 | 74,66 | 0,9 | 0,3 | 0 | 61,17 | 7,99 | 2.202,05 |
| | | IRO A | 1,50 | 78,4 | 1,18 | 0,32 | 0,05 | 764,6 | 99,89 | 27.525,67 |
| | | GINTA A | 1,50 | 78,8 | 1,18 | 0,32 | 0,06 | 854,56 | 111,64 | 30.763,99 |
| | | GINTA B | 1,20 | 63,32 | 0,76 | 0,44 | 0,14 | 2.101,31 | 274,53 | 75.647,02 |
| | | SPF | 15,09 | 69,04 | 10,42 | 4,67 | 0,9 | 13.483,44 | 1761,57 | 485.403,88 |
| | | BOGI | 1,27 | 60,84 | 0,77 | 0,5 | 0,18 | 2.696,08 | 352,23 | 97.058,76 |
| | | CAPIRON | 1,12 | 75 | 0,84 | 0,28 | 0 | 0 | 0 | \$0.00 |
| | | NPF | 5,59 | 70,92 | 3,96 | 1,63 | 0,23 | 3.419,3 | 446,72 | 12.3094,8 |
| | | TOTAL | | | 41,96 | 69,72 | 29,25 | 12,71 | 2,43 | 36.454,17 |
| Transp. Crudo | Sur | SPF | 0,93 | 41,73 | 0,39 | 0,54 | 0,31 | 4.638,75 | 606,04 | 166.995,01 |
| | Norte | NPF | 1,26 | 40,78 | 0,51 | 0,75 | 0,43 | 6.464,22 | 844,53 | 232.711,74 |
| | SSFD | SSDF | 1,34 | 74,65 | 1 | 0,34 | 0 | 70,31 | 9,19 | 2.531,28 |
| | TOTAL | | | 3,53 | 53,89 | 1,9 | 1,63 | 0,64 | 9.555,81 | 1.248,44 |
| TOTAL | | | 95,36 | 46,09 | 43,95 | 51,41 | 20,2 | 302.829,11 | 39.563,67 | 10'901.847,81 |

3.1.14. Potencial de ahorro

La tabla 27 se presenta el potencial ahorro de energía por cada sistema y locación, considerando que las bombas 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.

Por lo tanto realizando los respectivos cálculos, de los potenciales de ahorro anual en los siguientes aspectos:

- ✓ Potencial de ahorro ideal en energía, (MW-Día) 20,2
- ✓ Potencial de ahorro en barriles de 302 829,10
- ✓ Potencial de disminución emisiones de CO2 (Ton CO2 anuales) de 39 563,67
- ✓ Potencial de ahorro económico de USD \$ 10'901.847,81

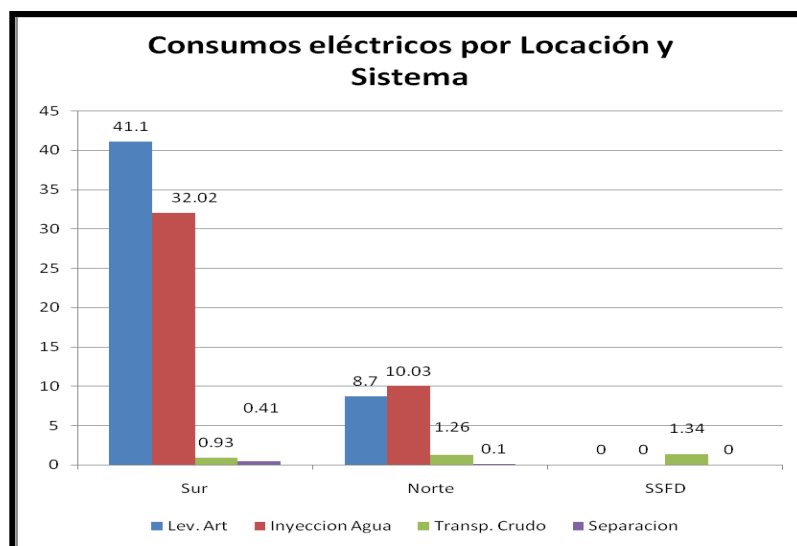


Figura 9. *Consumos Eléctricos por Locación y por Sistema*

A continuación se adjuntan los diagramas descriptivos de los flujos energéticos, producción de energía - usos y consumos y perdidas, por cada área de operación (SPF (FACILIDADES DE PRODUCCIÓN SUR), NPF y SSFD).

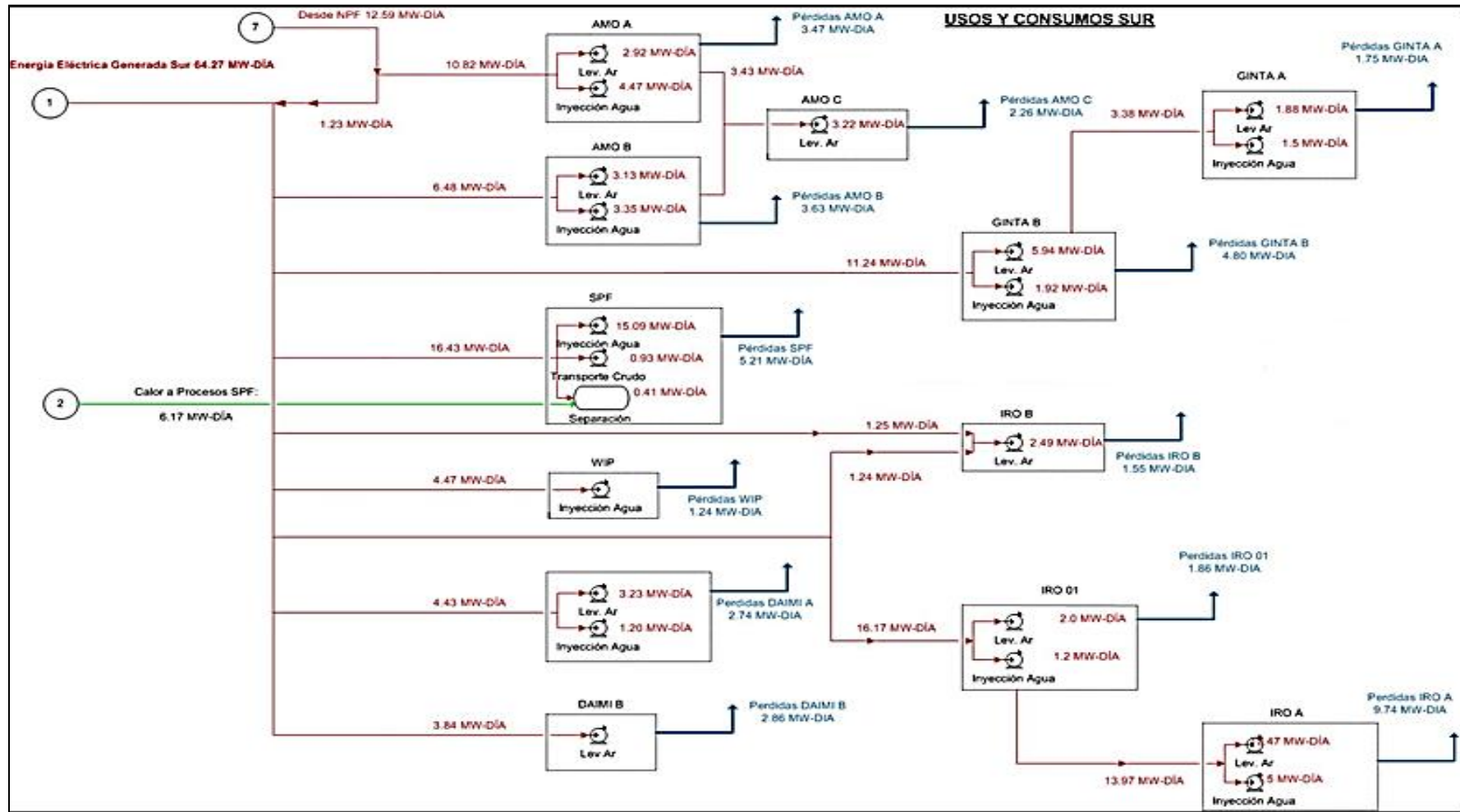


Figura 10. Diagrama de Flujo Energético Usos y Consumos de Energía ZONA SUR

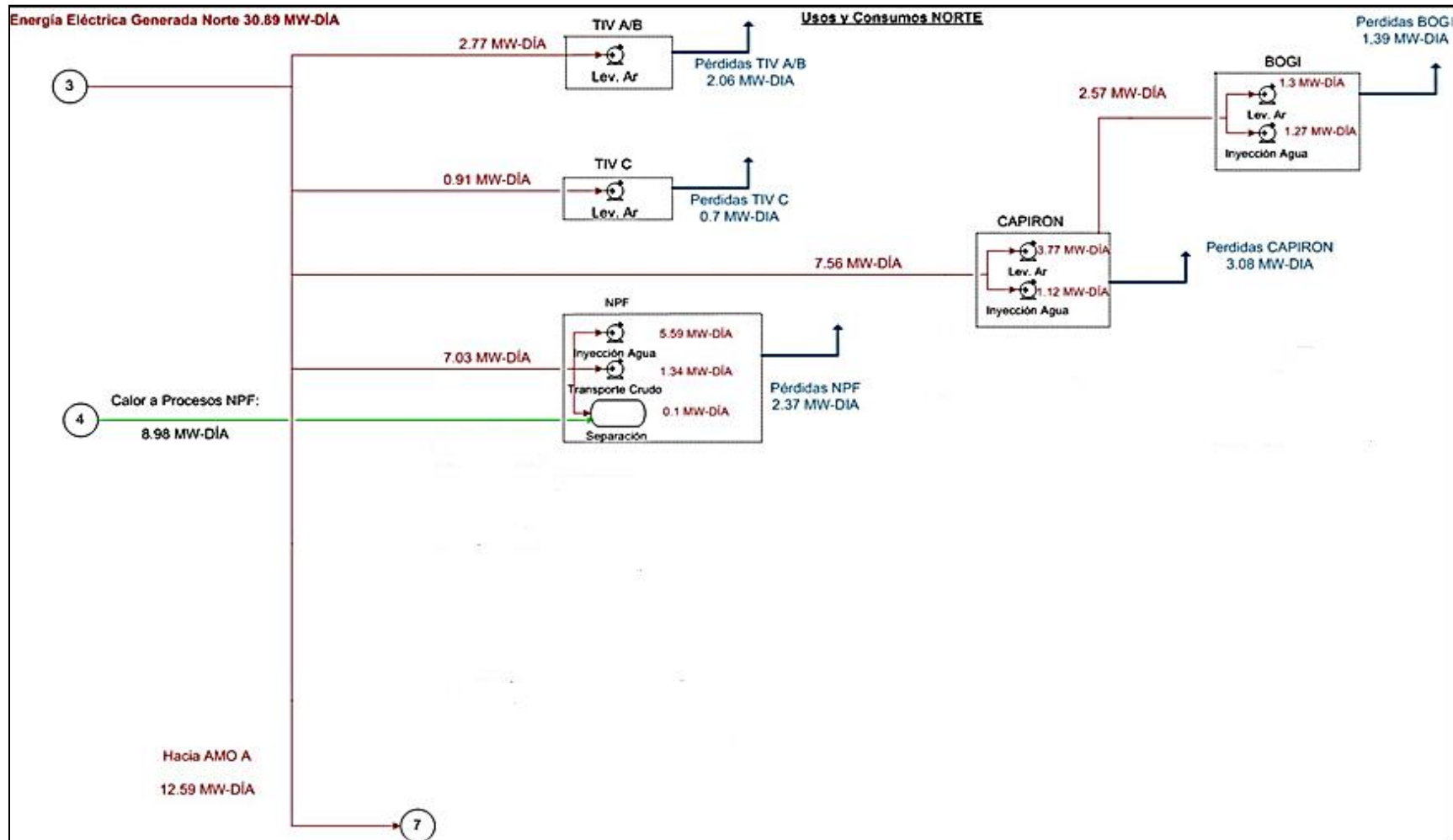


Figura 11. Diagrama de Flujo Energético Usos y Consumos de Energía ZONA NORTE

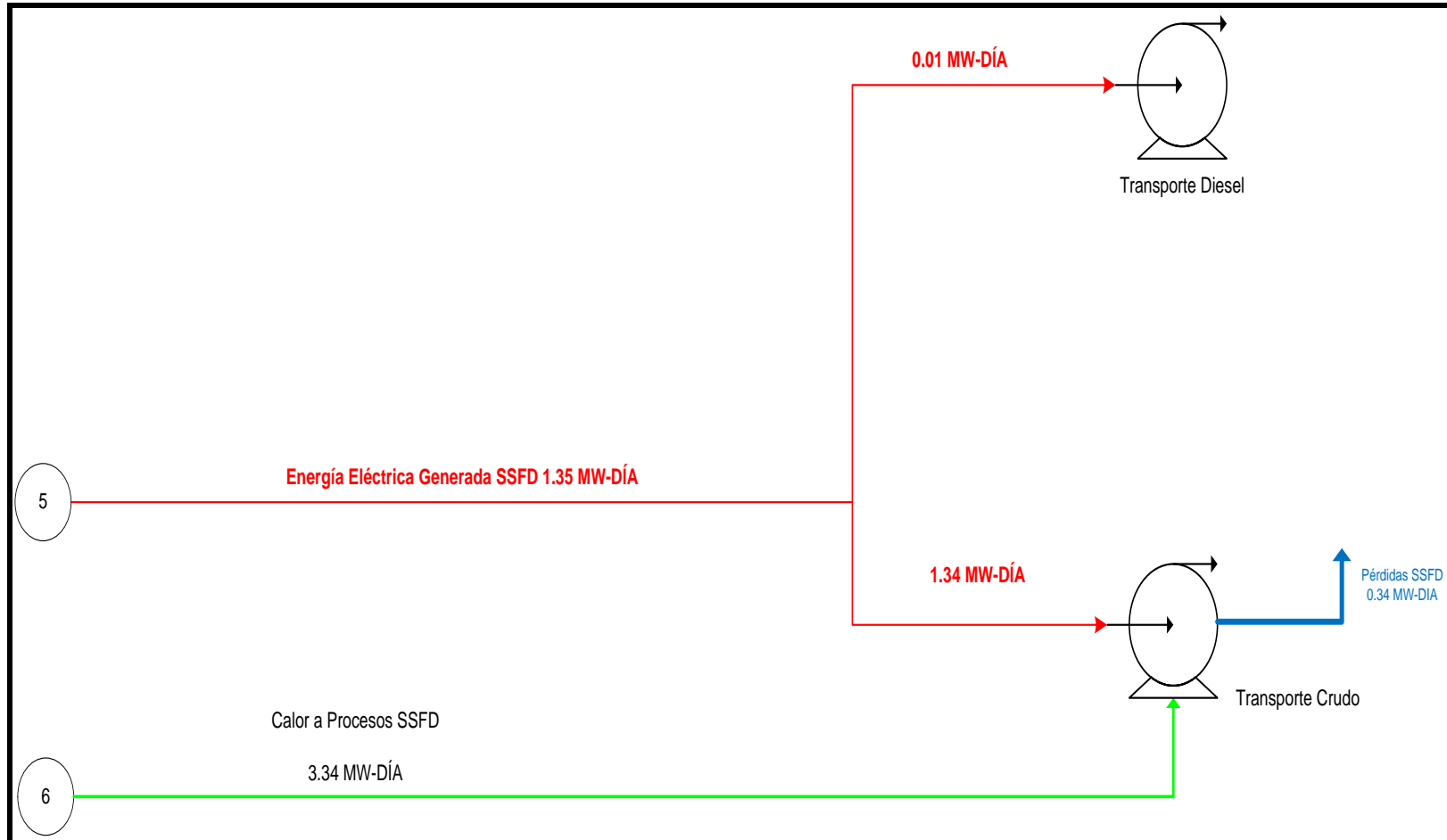


Figura 12. Diagrama de Flujo Energético Usos y Consumos de Energía ZONA SSF

Tabla 28. Eficiencias Promedio en el Uso de la Energía Eléctrica por Sistemas.

| | Área | Locación | Consumo (MW- Día) | Fracción Consumo con respecto al Total Consumido | Fracción Consumo Eléctrico por Sistema | Eficiencia media (%) |
|-----------------------------|-------|----------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------|
| Levantamiento Artificial | Sur | IRO A | 12,47 | 0,13 | 0,25 | 24,48 |
| | | GINTA B | 5,94 | 0,06 | 0,12 | 26,66 |
| | | DAIMI B | 3,84 | 0,04 | 0,08 | 25,54 |
| | | DAIMI A | 3,23 | 0,03 | 0,06 | 25,34 |
| | | AMO C | 3,22 | 0,03 | 0,06 | 29,72 |
| | | AMO B | 3,13 | 0,03 | 0,06 | 19,65 |
| | | AMO A | 2,92 | 0,03 | 0,06 | 34,40 |
| | | IRO B | 2,49 | 0,03 | 0,05 | 23,49 |
| | | IRO 01 | 2 | 0,02 | 0,04 | 22,19 |
| | | GINTA A | 1,88 | 0,02 | 0,04 | 23,85 |
| | | CAPIRON | 3,77 | 0,04 | 0,08 | 25,91 |
| | | TIVACUNO | 3,68 | 0,04 | 0,07 | 25,09 |
| | | BOGI | 1,3 | 0,01 | 0,03 | 31,01 |
| | | TOTAL | | 49,87 | 0,52 | 1 |
| Inyección Agua | Sur | AMO A | 4,47 | 0,05 | 0,11 | 65,2 |
| | | AMO B | 3,35 | 0,04 | 0,08 | 66,7 |
| | | WIP | 4,47 | 0,05 | 0,11 | 72,25 |
| | | DAIMI A | 1,2 | 0,01 | 0,03 | 72,25 |
| | | IRO 01 | 1,2 | 0,01 | 0,03 | 74,66 |
| | | IRO A | 1,5 | 0,02 | 0,04 | 78,40 |
| | | GINTA A | 1,5 | 0,02 | 0,04 | 78,80 |
| | | GINTA B | 1,2 | 0,01 | 0,03 | 63,32 |
| | | SPF | 15,09 | 0,16 | 0,36 | 69,04 |
| | | BOGI | 1,27 | 0,01 | 0,03 | 60,84 |
| | | CAPIRON | 1,12 | 0,01 | 0,03 | 75,00 |
| | | NPF | 5,59 | 0,06 | 0,13 | 70,92 |
| TOTAL | | 41,96 | 0,44 | 1 | 69,72 | |
| Transporte Crudo | Sur | SPF | 0,93 | 0,01 | 0,26 | 41,73 |
| | Norte | NPF | 1,26 | 0,01 | 0,36 | 40,78 |
| | SSFD | SSDF | 1,34 | 0,01 | 0,38 | 74,65 |
| | TOTAL | | 3,53 | 0,04 | 1 | 53,89 |
| TOTAL | | | 95,36 | 1 | 1 | 46,09 |

3.1.14.1. Eficiencia de Consumos Eléctricos del Bloque 16

A partir de la información obtenida en las tablas anteriores, se ha determinado la eficiencia promedio de los sistemas usuarios de energía eléctrica que conforman el Bloque 16. La eficiencia promedio mostrada en la tabla 28 es la media ponderada de las eficiencias medias de cada sistema, es decir, en este cálculo se toma en cuenta la fracción del consumo eléctrico con respecto al total del consumo del Bloque 16.

3.1.14.2. Observaciones

1. Las principales limitaciones que tiene la revisión energética o el balance real de consumos eléctricos se deben principalmente a la falta de datos y a la calidad de los mismos.
2. Para el sistema de Levantamiento Artificial, la limitación es que los datos obtenidos son puntuales y no son tomados con una frecuencia regular.
3. Para los sistemas de Inyección de Agua y Transporte de Crudo, la principal limitante es la disponibilidad del dato del consumo real de energía eléctrica por cada equipo e incluso por grupo de equipos. Esto conlleva a que las eficiencias calculadas tengan una elevada incertidumbre.
4. Los instrumentos de medición de flujo en el sistema de inyección de agua tienen una alta vida operacional, lo que podría generar que ya no sean sujeto de calibración.

3.1.15. Análisis

1. El resultado de la revisión energética permite definir la intensidad de consumos energéticos por cada uno de los sistemas del Bloque 16, en el siguiente orden:
 - a) Levantamiento artificial
 - b) Inyección de agua
 - c) Transporte de crudo

2. El mayor consumidor de energía es el sistema de levantamiento artificial, la mayor parte de la energía de este sistema se consume en el wellpad de IRO A, convirtiéndose en una instalación del sistema de levantamiento artificial con el más alto potencial de ahorro.
3. En el caso del sistema de Transporte de Crudo, aunque no es un sistema que tenga un consumo considerablemente alto, se observa que su mayor consumo es en la estación Shushufindi.
4. Los resultados de las pérdidas obtenidas en los sistemas de Transporte de Crudo e Inyección de Agua presentan una elevada incertidumbre, debido a que en la mayoría de los equipos se ha realizado el análisis con datos nominales y no con datos reales reportados.
5. Del análisis global de la revisión energética se concluye que existe un elevado nivel de pérdidas en forma global de los sistemas del Bloque 16.
6. Las condiciones en las que fueron diseñadas las instalaciones y el estado actual de las mismas puede generar los cuellos de botella que impidan disminuir el consumo de la energía.
7. Con el incremento de la eficiencia en los sistemas usuarios de energía en el sistema de levantamiento artificial se podría llegar a eliminar los posibles cuellos de botella que podrían presentarse en el transporte de energía eléctrica.
8. Se ha obtenido un valor de eficiencia global del Bloque 16 del 16.23%, es decir, por cada megavatio que produce un combustible en su combustión, sólo 0.1623 MW son aprovechados por los sistemas del bloque 16 para realizar trabajo. Esto se debe principalmente a la limitación tecnológica en la transformación de la energía química de los combustibles en energía eléctrica y a la eficiencia de los consumidores de energía.

3.2. Definición de los Indicadores de Desempeño Energético (IDEns)

Los indicadores de desempeño energético IDEns que se detallan en el presente documento, tienen como objetivo medir el rendimiento energético específico que posee cada uno de los sistemas que conforman el proceso de producción de petróleo del Bloque 16 de Repsol.

3.2.1. Alcance

Los IDEns definidos se enfocan en los sistemas en los que existe mayor consumo de energía eléctrica, los cuales se listan a continuación:

- Levantamiento Artificial
- Inyección de Agua
- Transporte de Crudo

Los sistemas de Separación y Varios por decisión de la organización no han sido incluidos en la primera fase de implementación de la norma ISO 50001:2011, por tal motivo no se definirán estos indicadores.

Documentos de Referencia para definir los indicadores:

- ✓ PG.-25-EC Planificación y revisión energética (Anexo 6).
- ✓ PG.-26-EC Línea de base energética (Anexo 7).
- ✓ PG.-27-EC Indicadores de desempeño energético IDEns (Anexo 8).

Los siguientes documentos se enfocan en detallar la metodología de cálculo de los Indicadores de Desempeño Energético IDEns utilizados para la implementación de la norma ISO: 50001:2011 en las operaciones de Repsol Ecuador en el Bloque 16.

Los principales aspectos que se explican es la información requerida para la realización del cálculo, la fuente dónde se puede obtener dicha información y el modelo de cálculo de cada IDEn.

Valiéndose de los datos del desempeño energético de cada uno de los sistemas, se puede evidenciar la tendencia del comportamiento de los IDEns a lo largo del tiempo, esto permitirá identificar los argumentos en la toma de decisiones para el establecimiento de Objetivos, Metas y Planes de Acción.

3.2.2. Metodología de cálculo

Para el establecimiento de indicadores de desempeño energético, se ha definido analizar en cada sistema el comportamiento a través del tiempo del consumo energético específico.

Se fundamenta en determinar la cantidad de energía eléctrica que consume cada sistema del proceso de producción de crudo en el Bloque 16; luego, con el flujo de fluido con el que trabaja dicho sistema se calcula el consumo específico del mismo, mediante la siguiente expresión:

$$CE = \text{Flujo Fluido Trabajo Consumo Eléctrico (Sistema)} * 100$$

Dónde:

CE = Consumo Específico del sistema (Bls Fluido Trabajo/MW-Día)

El fluido de trabajo considerado en cada sistema se muestra en la Tabla 16.

Tabla 29. *Fluido de Trabajo de los Sistemas del Bloque 16.*

| Sistema | Fluido Trabajo |
|--------------------------|-----------------------|
| Levantamiento Artificial | Fluido levantado |
| Inyección Agua | Agua inyectada |
| Transporte Crudo | Crudo delivery |

Este procedimiento se realiza con datos de producción disponibles en:

- ✓ Reportes TOW
- ✓ Reportes mensuales del SGI (Sistema de Gestión Integrado) de cada uno de los sistemas analizados.

3.2.4. Análisis del Sistema Inyección de Agua

Para realizar el indicador de consumo específico en el sistema de inyección de agua, se aplica la siguiente expresión:

$$CE_{INY} = \frac{Agua}{(CET)*(Prop\ Nom)_{INY}} * 100 \quad (7)$$

Dónde:

CEINY = Consumo Específico de Inyección de Agua (Barriles de Agua Inyectada/MW-Día)

CET = Consumo eléctrico real del Bloque (MW-Día)

Prop Nom INY = Proporción Nominal de Consumo Eléctrico, sistema de Inyección de Agua (%)

Agua= Flujo de agua inyectada total (BWPD) (Barriles de agua por día)

Para realizar este cálculo, se ha diseñado la matriz de consumos específicos de este sistema, la cual se muestra en la tabla 31:

Tabla 31. *Matriz de Cálculo de Consumos Específicos, sistema de Inyección de Agua – RG-27-EC-01 Indicadores de desempeño energético Inyección de Agua*

| Día | Inyección Agua (BPD) | Energía Consumida (MW-Día) | Consumo Eléctrico Iny. Agua | Consumo Específico Iny. Agua (Bls Agua/MWD) | Media Móvil | Lim Sup (+1%) | Lim Inf (-1%) |
|-----|----------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|-------------|---------------|---------------|
| | | | | | | | |

3.2.5. Análisis del Sistema Transporte de Crudo

Para realizar el indicador de consumo específico en el sistema de transporte de crudo, se aplica la siguiente expresión:

$$CE_{TC} = \frac{Crudo\ Delivery}{(CET)*(Prop\ Nom)_{TC}} * 100 \quad (8)$$

Dónde:

CETC = Consumo Específico de Transporte de Crudo (Bls Crudo Entregado/MW-Día)

CET = Consumo eléctrico real del Bloque (MW-Día)

Prop Nom TC = Proporción Nominal de Consumo Eléctrico, sistema de Transporte de Crudo (%)

Crudo Delivery = Flujo de crudo entregado total (BOPD)

Para realizar este cálculo, se ha diseñado la matriz de consumos específicos de este sistema, la cual se muestra en la tabla 32.

Tabla 32. *Matriz de Cálculo de Consumos Específicos, Sistema de Transporte de Crudo – RG-27-EC-01 Indicadores de desempeño energético Transporte de Crudo*

| Día | Crudo Del (BPD) | Energía Consumida (MW-Día) | Consumo Eléctrico Trans. Crudo (MW-Día) | Consumo Específico Trans. Crudo (Bls Crudo/MWD) | Media Movil | Lim Sup (+3%) | Lim Inf (-3%) |
|-----|-----------------|----------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------|---------------|---------------|
| | | | | | | | |

Todos los datos y resultados que se obtengan producto del cumplimiento del presente se compilan en el registro de Indicadores de desempeño energético, a más de los correspondientes gráficos de los resultados obtenidos.

3.2.6. Indicadores de desempeño energético (IDEn) para motores eléctricos de 1500 HP del sistema de inyección de agua

El Indicador de Desempeño Energético (IDEn), como ya se ha explicado, es la relación entre el consumo de energía y el uso de la misma expresado en el trabajo, producción o energía transformada como se puede ver en la siguiente fórmula:

$$\text{IDEn} = \frac{\text{Consumo En}}{\text{Uso En (Trabajo entregado)}} \quad (9)$$

En donde:

Consumo En: es el consumo de energía medido o estimado, utilizado por la tecnología observada

Uso En: es el uso de la energía expresado en trabajo entregado, producción generada o energía transformada.

Se obtiene una serie de Indicadores de Desempeño Energético los cuales se calculan para cada punto de medición durante un tiempo definido entre el proponente y el usuario, la diferencia principal es el componente de la medición, medición de equipo actual, medición real de nueva tecnología y elementos de entrada y salida de energía propuestos.

Existen tres tipos de IDEn (Indicador de desempeño energético):

- 1) **IDEn Base**, que es el resultado de aplicar la medición del consumo y de las variables relevantes en la situación actual del equipo en un periodo de medición controlado y bajo parámetros controlados establecidos para cada tecnología.
- 2) **IDEn Estimado**, es el resultado de la estimación a futuro del consumo y de las variables relevantes aplicadas a la tecnología definida por el proponente de tecnología para cada uno de los periodos de verificación. Las mediciones se asumen bajo los mismos parámetros y periodos controlados establecidos en el IDEn Base.
- 3) **IDEn Efectivo**, es el indicador que se deriva de aplicar las mediciones del consumo y de las variables relevantes durante la operación del equipo nuevo instalado. La medición se realiza bajo las mismas condiciones establecidas en la IDEn Base, donde el periodo de medición y los parámetros controlados son los mismos.

Para efecto de calcular los IDEn Base y el IDEn Estimado necesarios para calcular la eficiencia energética, se deberá usar el formato propuesto que se aplicará y alimentando las variables relevantes, indicadores de desempeño energético base e indicadores de

desempeño energético estimado. Para estimar los Indicadores de Desempeño Energético se tiene:

Indicador de Desempeño Energético Base (IDEn_{Base}):

- a. Identificar las variables que se va a medir en un equipo existente determinado (motores eléctricos de 1500 HP para el sistema de inyección de agua) y que son las variables relevantes.
- b. Definir los parámetros controlados y el periodo de medición controlada
- c. Cuando corresponda a una obtención de una componente que no se mida directamente, se recurre al modelo propuesto para definir el trabajo entregado
- d. Construir con las variables medidas los Indicadores de Desempeño Energético
- e. Realizar con los periodos de tiempo establecidos y los puntos de medición ya relacionados la Línea de Base Energética (LBEn)
- f. Para estimar el Indicador de Desempeño Energético Estimado (IDEn_{Estimado}) se requieren los siguientes pasos:
 - g. Usar las mismas variables definidas en el IDEn_{Base}.
 - h. Construir con las mismas variables pero con los datos de la tecnología proponente el IDEn_{Estimado}
 - i. Se proyecta para el mismo periodo que va cumplir con el ciclo de verificación del IDEn_{Base}
- j. Para estimar el Indicador Energético Efectivos (IDEn_{Efectivos}) se requieren los siguientes pasos:
 - k. Usar las mismas variables definidas en el IDEn_{Base}
 - l. Usar las mismas variables relevantes y las variables NO relevantes
 - m. Medir las variables bajo los mismos parámetros controlados, se utilizan los mismos periodos de medición para su proyección consistentes con los ciclos de verificación.

Tabla 33. *Indicadores de desempeño energético base*

| Indicadores de Desempeño Energético Base | | | | | |
|-------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------|------------|-----------|---------------------|
| RPM sincrónica | | | 900 | HP placa | 1500 |
| RPM placa | | | 850 | | IDEn Base |
| Periodo | Tiempo de registro de datos | Consumo de energía kWh | RPM medida | HP salida | Consumo / HP salida |
| P1 | 20-jun-16 | 18864 | 870 | 900 | 20,96 |
| P2 | 21-jun-16 | 19728 | 862 | 1140 | 17,31 |
| P3 | 22-jun-16 | 20592 | 860 | 1200 | 17,16 |
| P4 | 23-jun-16 | 18864 | 865 | 1050 | 17,97 |
| P5 | 24-jun-16 | 23760 | 863 | 1110 | 21,41 |
| P6 | 25-jun-16 | 18864 | 867 | 990 | 19,05 |
| P7 | 26-jun-16 | 23796 | 868 | 960 | 24,79 |
| Promedio | | | | | 19,81 |

De manera ilustrativa, a continuación se muestra ambos indicadores ($IDEn_{Base}$ e $IDEn_{Estimado}$), en la Tabla 32 y Tabla 33 respectivamente. Donde el Consumo de energía, las RPM y los HP salida son variables relevantes. Los valores representados son los valores de medición en 7 días diferentes. En cada periodo se estima el $IDEn_{Base}$ de donde se obtiene un valor promedio de todos los periodos que representan diferentes tiempos de registro y/o diferentes niveles de consumo de energía, y se proyecta hacia el ciclo completo de verificación, para este caso 1 semestre (182 días).

El valor $IDEn_{Base}$ promedio del ejemplo anterior es igual a 19.81 kWh/HP_{salida} para efectos de cálculo de esta propuesta se considera 20 kWh/HP_{salida} para efectos de la propuesta al proyectar este valor en un ciclo de verificación (6meses/182 días) es de 3,640 kWh/HP_{Salida}, dato que sirve de referencia para cálculos posteriores.

La tabla siguiente muestra el cálculo del $IDEn_{Estimado}$, se utiliza el mismo número de periodos para fines de comparación y gráfica.

Tabla 34. *Indicador de Desempeño Energético Estimado*

| Indicadores de Desempeño Energético Estimado | | | |
|-----------------------------------------------------|----------------------|-----------|---------------------|
| Periodo | IDEn Estimado | | |
| | Consumo de kWh | HP salida | Consumo / HP salida |
| P1 | 9720 | 1200 | 8,1 |
| P2 | 9720 | 1200 | 8,1 |
| P3 | 9720 | 1200 | 8,1 |
| P4 | 9720 | 1200 | 8,1 |
| P5 | 9720 | 1200 | 8,1 |
| P6 | 9720 | 1200 | 8,1 |
| P7 | 9720 | 1200 | 8,1 |

3.2.7. Índice de Mejora del Desempeño Energético (IMDEn)

El índice de Mejora del Desempeño Energético muestra el porcentaje de ahorro obtenido en términos relativos (porcentuales) en la aplicación de una medida de eficiencia energética en un periodo determinado (Periodo de verificación).

$$\text{IMDEn} = \left[\frac{(\text{IDEn}_{\text{Base}} - \text{IDEn}_{\text{Estimado}})}{\text{IDEn}_{\text{Base}}} \right] \times 100 \quad (10)$$

En donde:

IDEn_{Estimado}; es el indicador de desempeño energético estimado

IDEn_{Base}; es el indicador de desempeño energético base

Este indicador es el que muestra al final la capacidad de generar una eficiencia en la solución propuesta y será la referencia sobre la cual se justificará la capacidad económica de la propuesta para generar los ahorros durante el periodo de operación garantizado.

Es importante destacar que se identifican claramente dos (Indices de Mejora de Desempeño) IMDEn a utilizarse al aplicar la fórmula anterior en la variable IDEn_{Estimado}:

- ✓ **IMDEn_{Estimado}**, utilizado para establecer el compromiso de ahorro contractual ofrecido por el proponente de tecnología y que es resultado de utilizar para el cálculo el IDEn_{Estimado}.
- ✓ **IMDEn_{Efectivo}**, utilizado para calcular la capacidad real de mejora de la propuesta y en consecuencia calcular si hubo deficiencia o exceso en el ahorro comprometido por el proponente de la tecnología y que es resultado de utilizar para el cálculo el IDEn_{Efectivo}.

En la tabla 35 de índice de mejora se calcula el porcentaje para cada periodo registrado, a su vez el promedio del mismo para definir un % a establecer.

Tabla 35. *Índice de mejora obtenido*

| Índice de mejora % | |
|---------------------------|--------------|
| Periodo | Índice % |
| P1 | 61.35 |
| P2 | 53.19 |
| P3 | 52.80 |
| P4 | 54.91 |
| P5 | 62.16 |
| P6 | 57.49 |
| P7 | 67.32 |
| PROMEDIO | 58.46 |

El valor promedio del IMDEn_{Estimado} es igual a 58.46 %, por lo que la comparación de estas dos variables determina el cumplimiento de la obligación de ahorro de la propuesta de eficiencia energética. El IMDEn_{Efectivo} de un periodo siempre tendrá que ser igual o mayor que el IMDEn_{Estimado}, de lo contrario la propuesta no estaría cumpliendo con el objetivo y compromiso.

$$\text{Compromiso: } \text{IMDEn}_{\text{Efectivo}} \geq \text{IMDEn}_{\text{Estimado}}$$

Como producto de esta información, se genera una gráfica en donde se puede observar el IDEn_{Base}, el IDEn_{Estimado} y el IMDEn.

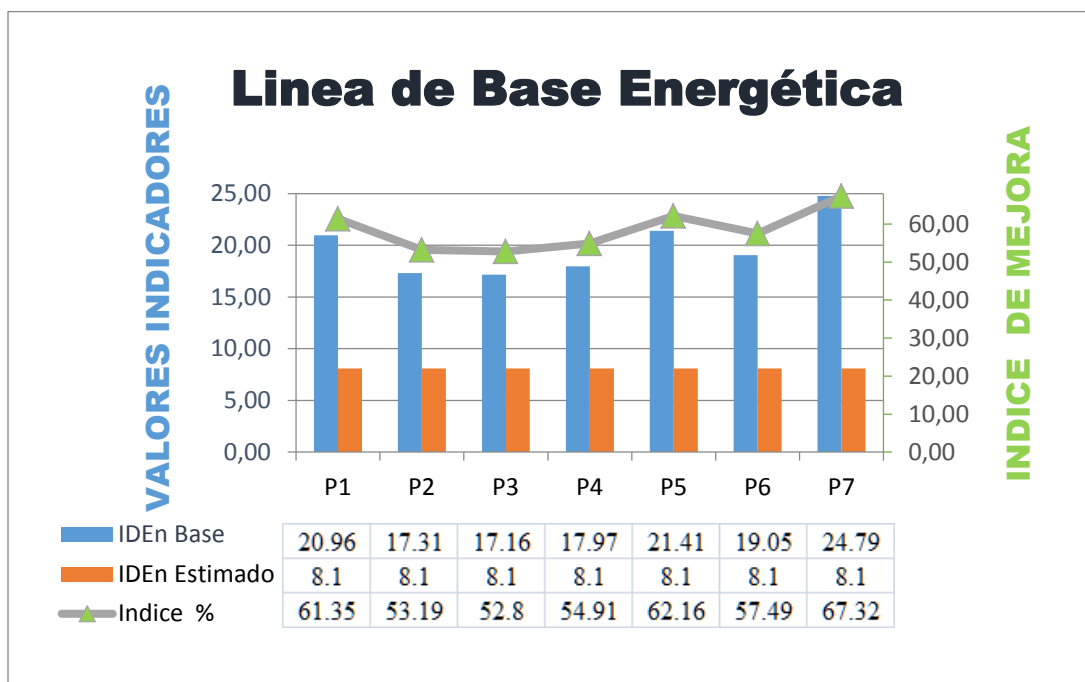


Figura 13. Línea de Base Energética, gráfica propuesta

3.2.8. Ahorro Energético y Compensación Económica

Tomando en cuenta que el IDEn es el soporte metodológico sobre el cual se calcula el ahorro energético, es importante precisar el cálculo y el impacto económico que tendría la desviación del ahorro energético esperado.

Como ya se ha descrito anteriormente existen tres tipos de IDEn: Base, Estimado y Efectivo.

A lo largo del apartado 3.2.7. Se define el desarrollo del IDEn_{Base} y del IDEn_{Estimado}. En este apartado se precisará como determinar el IDEN_{Efectivo} como base para definir cuál es el monto de ahorro económico logrado y establecer si el proponente de tecnología tiene que resarcir el déficit de ahorro, o por el contrario si el equipo propuesto tuvo la condición de al menos cumplir, si no que exceder, el ahorro económico estimado.

El IDEn_{Efectivo} se refiere a las mediciones que se llevan a cabo en el equipo instalado.

1. Se realiza una medición controlada de manera similar a la realizada para el $IDEn_{Base}$, pero ahora ya tomando mediciones sobre las condiciones nuevas.
2. Con base en las mediciones, se definen los consumos y ahorros del periodo de la prueba controlada y se extrapola al periodo de reporte, es decir se multiplican las mediciones realizadas por el número de veces que el periodo de la prueba controlada cabe en el ciclo de verificación (periodo de reporte).
3. Se determina el $IDEn_{Efectivo}$ usando el mismo procedimiento para el $IDEn_{Base}$, pero bajo las nuevas condiciones de la instalación. Incluido el mismo periodo de medición.

Por lo tanto, el $IMDEn_{Estimado}$ se refiere al ahorro de energía que el proponente estima debido al cambio de equipo o tecnología de un equipo existente y que se estipula como el compromiso en el contrato. El $IMDEn_{Efectivo}$ se refiere a la diferencia de mediciones entre el consumo de energía del equipo reemplazado y el consumo de energía efectivo del equipo nuevo del periodo de verificación correspondiente.

Para determinar el $IMDEn_{Efectivo}$, se utiliza la misma fórmula mencionada en el apartado 4.6.5 y sustituyendo el $IDEn_{Estimado}$ por el $IDEn_{Efectivo}$, se obtiene:

$$IMDEn = \left[\frac{(IDEn_{Base} - IDEn_{Efectivo})}{IDEn_{Base}} \right] \times 100 \quad (11)$$

En donde:

$IDEn_{Efectivo}$, es el indicador de desempeño energético estimado

$IDEn_{Base}$, es el indicador de desempeño energético base

Con ello se determina un nuevo porcentaje de mejora con el que se podrá evaluar el cumplimiento de la meta de ahorro comprometida y en consecuencia calcular el déficit o superávit de ahorro económico.

Es importante recalcar que las mediciones y cálculos de cada periodo son independientes entre ellos, y en cada uno se estiman los valores de IMDEn los cuales no se pueden compensar con los otros periodos para evaluar el desempeño de la propuesta. La siguiente tabla ejemplifica el desempeño de la propuesta:

Tabla 36. *Desempeño de la propuesta*

| Periodo de Verificación | IMD _{En} Estimado | IMD _{En} Efectivo | Comparación de IMD _{En} | Cumplimiento |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------|
| Año 1 | 30% | 33% | Efectivo > Estimado 33% > 30% | Cumplió |
| Año 2 | 30% | 31% | Efectivo > Estimado 31% > 30% | Cumplió |
| Año 3 | 30% | 28% | Efectivo < Estimado 28% < 30% | No cumplió |
| Año 4 | 30% | 30% | Efectivo = Estimado 30% = 30% | Cumplió |

Por ejemplo, si en el IMD_{En} Estimado fue del 30% y el IMD_{En} Efectivo del primer periodo fue del 33% (hubo un sobre desempeño de la propuesta del 10%) y el tercer periodo el IMD_{En} Efectivo fue de 28%, el tercer periodo implica que la propuesta no cumplió la meta de ahorro energético comprometido en ese periodo y tendría que haber un análisis correspondiente a ese periodo en específico.

Con el objeto de estimar el nivel de cumplimiento, se usa el Índice de Desviación, el cual se calcula con base en la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de desviación} = \left[\frac{(IMD_{EnEfectivo} - IMD_{EnEstimado})}{IMD_{EnEstimado}} \right] \quad (12)$$

En el caso de que el Índice de Desviación sea igual o mayor a cero, significa que la propuesta ha cumplido con el ahorro comprometido en el periodo verificado

($IMDEn_{Efectivo} \geq IMDEn_{Estimado}$), en el caso de que el índice sea menor que cero se puede decir que la propuesta NO cumplió con los ahorros comprometidos en el periodo verificado ($IMDEn_{Efectivo} < IMDEn_{Estimado}$).

En el caso de que la propuesta NO haya cumplido con los ahorros comprometidos se tiene que estimar el daño económico que implica esa falta de cumplimiento y la posible compensación. Esta compensación se calcula multiplicando el Índice de desviación por el Ahorro Económico Estimado en el periodo. A este valor le llamamos Compensación económica.

Compensación económica =

Índice de Desviación x Ahorro Económica Estimado del Período (13)

Análisis:

- 1) Con base en este caso desarrollado en esta metodología, se tiene que el $IMDEn_{Estimado}$ es 58.46%
- 2) Para fines de este caso, se asume que el $IDEn_{Efectivo}$ observado en el presente periodo de reporte es de 50.5%
- 3) El Ahorro Económico Estimado del periodo es de \$64,682.25
- 4) Índice de Desviación se calcula aplicando la fórmula anterior, y se observa que el $IMDEn_{Efectivo}$ estuvo un 13.11% por debajo de lo acordado: $(50.5\% - 58.12\%) / 58.12\% = -13.11\%$
- 5) Con los datos anteriores se puede calcular la Compensación Económica (déficit) \$8,480.36, resultado de multiplicar el ahorro de \$64,682.25 por -13.11%

3.3. Propuesta de mejora de la eficiencia energética

Se propone una mejora de la eficiencia energética con oportunidades de ahorro de energía eléctrica, una vez realizado el balance general de energía de cada sistema que

conforma el proceso de producción de petróleo del Bloque 16 de Repsol, y con este balance se desarrollaron indicadores los cuales satisfacen los requisitos de la Norma ISO 50 001 y con estos indicadores se realiza el diagnóstico de la eficiencia energética en Repsol en el cual se identifica el sistema de mayor consumo de energía y en el cual se propone diseñar una propuesta con oportunidades de mejora de ahorro de energía eléctrica, valorando técnica y económicamente la propuesta, así como las afectaciones medioambientales asociadas al mismo.

3.3.1. Justificación de la propuesta

Es necesaria una propuesta de mejora de la eficiencia energética cumpliendo los objetivos planteados en la investigación.

Una propuesta de mejora es la implementación de una solución tecnológica (nuevos motores de 1500HP para el sistema de inyección de agua de formación) orientada a proporcionar el servicio requerido por esta industria para la realización de su proceso de producción de petróleo, consta la información necesaria para demostrar que la incorporación de estos nuevos equipos e instalaciones proporcionarán un ahorro energético durante su operación y que este ahorro tendrá la capacidad de obtener el flujo financiero para pagar la inversión realizada y se obtendrá una mejora de la eficiencia energética.

3.3.2. Objetivos de la propuesta

3.3.2.1. Objetivo General

Desarrollar indicadores energéticos que satisfagan los requisitos de calidad de la norma ISO 50001 en el Bloque 16 de Repsol”.

3.3.2.2. Actividades Específicas

1. Adoptar una cultura integral del uso racional y eficiente del consumo de energía.

2. Evaluar el balance general de energía de cada sistema que conforma el proceso de producción de petróleo del Bloque 16
3. Establecer rutinas de seguimiento de los indicadores que garanticen el uso racional y eficiente del consumo de energía.
4. Evaluar el nivel de desempeño energético y las pérdidas de energía de las instalaciones del Bloque 16.
5. Elaborar una propuesta para determinar oportunidades de ahorro de energía eléctrica, valorando técnica y económicamente la implementación de nuevos motores de 1500 HP para el sistema de inyección de agua así como, las afectaciones medioambientales asociadas al mismo.

3.3.3. Estructura de la propuesta

Al inicio de la presente investigación se planteó la siguiente hipótesis:

Si se desarrolla indicadores energéticos que satisfagan los requisitos de calidad de la norma ISO 50001 en el Bloque 16 de Repsol y se determina aspectos puntuales de la eficiencia energética, entonces se dispondrá de una mejora en el aprovechamiento y uso racional de la energía eléctrica.

En el capítulo 3 de la presente investigación se identifica en el cálculo de balances energéticos, consumos específicos, revisión energética y el diagnóstico de la situación actual de cada uno de los sistemas del Bloque 16, en el siguiente orden:

- ✓ Levantamiento artificial
- ✓ Inyección de agua
- ✓ Transporte de crudo

Los IDEns podrán utilizarse 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 (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.
- ✓ Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero GEI.

Del análisis global del diagnóstico se concluye que existe un elevado nivel de pérdidas en forma global de los sistemas del Bloque 16, las condiciones en las que fueron diseñadas las instalaciones y el estado actual de las mismas puede generar los cuellos de botella que impidan disminuir el consumo de la energía.

Con lo cual la hipótesis planteada al inicio de la investigación ha sido comprobada debido a que se han encontrado altos consumos de energía eléctrica de Repsol y se generaran propuestas efectivas que garanticen reducir los consumos altos de energía eléctrica.

3.3.4. Desarrollo de la propuesta

Para el desarrollo de los indicadores de desempeño energético de los requisitos establecidos por la Norma ISO 50001:2011 y el desempeño energético de Repsol Ecuador se dispondrán indicadores globales para cada uno de los sistemas usuarios y consumidores de mayor energía, los mismos están compilados con toda su información que permite su cálculo, definición y seguimiento en el registro RG-27-EC-01 Indicadores de desempeño

energético, adicional e esto se evaluó técnica y económicamente el reemplazo de los motores eléctricos de 1500 HP que se utilizan para la inyección de agua de formación.

Responsables de la implementación

Tabla 37. *Personal involucrado con su grado de responsabilidad*

| Responsables de la implementación | | |
|------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Área | RESPONSABLE | ACTIVIDAD |
| Dirección técnica | Ing. Franklin Portilla | Coordinar la implementación de los indicadores energéticos |
| Dirección financiera | Ing. Franklin Portilla | Contar con el financiamiento respectivo para el inicio de la implementación |
| Supervisor y evaluador | Ing. Ángel León | Verifica el avance de la implementación de los indicadores energéticos |

3.3.5. Marco Teórico

Un proyecto de eficiencia energética, adicionalmente al diseño de la solución tecnológica orientada a proporcionar el servicio requerido por la industria para la realización de sus procesos, debe contener la información necesaria para demostrar que la incorporación de equipos e instalaciones proporcionarán un ahorro energético durante su operación y que este ahorro tendrá la capacidad de obtener el flujo financiero para pagar la inversión realizada.

Toda la información recolectada de una forma estándar y con un grado de precisión suficiente, para los fines de la presente metodología, se propone el Sistema Medición, Reporte, Verificación, (Medición, Reporte, Verificación) MRV que se encuentra sustentado en el enfoque sugerido por ISO a través de los anexos técnicos a la norma

internacional ISO 50001:2011, ISO 50006:2014 e ISO 50015:2014 que se refieren a la definición de indicadores energéticos, línea base y mecanismos de MRV.

La lógica de razonamiento se basa en las siguientes etapas:

- a) Realizar el balance de energía de cada sistema
- b) Desarrollar indicadores los cuales expresen una relación entre la energía consumida (en kWh por ejemplo) para generar un trabajo, producto o energía transformada.
- c) Diagnosticar la eficiencia de la energía utilizada para entregar un fin como es en este caso de la empresa Repsol que requiere equipos eléctricos para producir petróleo.
- d) Una vez realizadas las etapas en mención se ejecuta la propuesta con oportunidades de mejora de la eficiencia los cuales se evidenciaran en ahorro de energía eléctrica.

Un indicador de desempeño energético (IDEn), es un tipo de indicador crítico de desempeño, que normalmente se utiliza en los negocios para dar seguimiento a las variables críticas de operación, financieras, administrativas y de mercado. En este caso se refiere al uso de la energía como recurso valioso que permite medir y aportar información relevante para diagnóstico, diseño de propuesta de mejora y el seguimiento de su efectividad.

Teniendo claro el IDEn (Indicador de desempeño energético) del ámbito que nos interesa resolver, circunscrito por un perímetro adecuadamente definido, se establece una serie de tiempos que establezca el IDEn en el pasado y presente (también conocida como línea base en un periodo de tiempo y que es medida) y una proyección de este indicador en el futuro que contemplen los ciclos de verificación que son los propósitos de este proyecto de mejora.

La diferencia de estas dos últimas proyecciones define el ahorro estimado sobre el cual se justificará la propuesta. En la figura 14 se presenta un esquema en donde se muestra claramente lo anteriormente expresado.

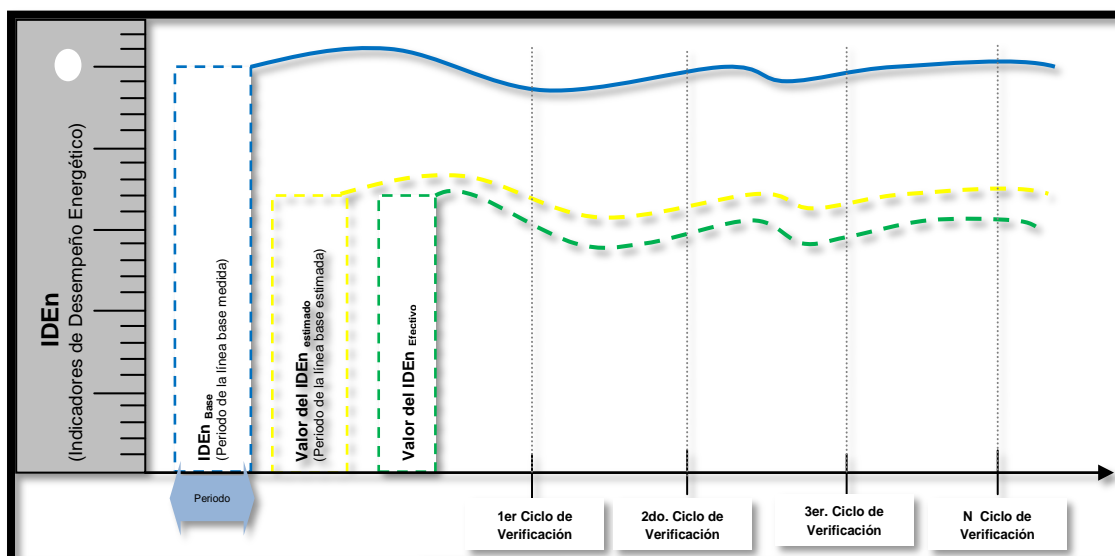


Figura 14. *Conceptualización de Línea Base*

Un elemento crítico para la adecuada aplicación de lo anteriormente expuesto es la realización de una medición de variables que impactan la eficiencia energética. Para ello, resulta crítico contar con un histórico de estas variables durante un periodo establecido o en su defecto, tener la capacidad de realizar mediciones con parámetros de tiempo, precisión y significancia de las variables importantes para el cálculo del uso y consumo de la energía.

A partir de esta información, la propuesta caracteriza estas variables y obtiene valores relevantes para identificar la relación existente entre un consumo de energía y el uso que se le dio.

Es importante mencionar que cada tecnología, y en muchos casos la propia instalación a evaluarse o desarrollarse, tiene un modelo específico para aplicar.

Con base en lo anterior, esta metodología establece un criterio de medición expresado en un indicador de desempeño energético (IDEn) que comparado entre una situación actual (línea base energética o LBEn) y una situación esperada establecida como meta energética (definido ahora como “IDEn estimado”), se pueda establecer un ahorro que pueda ser expresado en términos de un porcentaje (IMDEn), energía y dinero.

Una vez implementado la propuesta, en cada periodo de revisión estipulado se deberá calcular el indicador energético producto de la operación de la nueva instalación (motor eléctrico de 1500 HP para el sistema de inyección de agua) (ahora definido como IDEn efectivo) y comparar contra el IDEn estimado y con ello determinar si se logró la meta de ahorro de energía.

Por definición: Ahorro energético efectivo \geq Ahorro energético estimado

IDEn Efectivo \geq IDEn Estimado

IMDEn Efectivo \geq IMDEn Estimado

En la figura 15 Se muestra en forma de diagrama esta idea anteriormente expuesta.

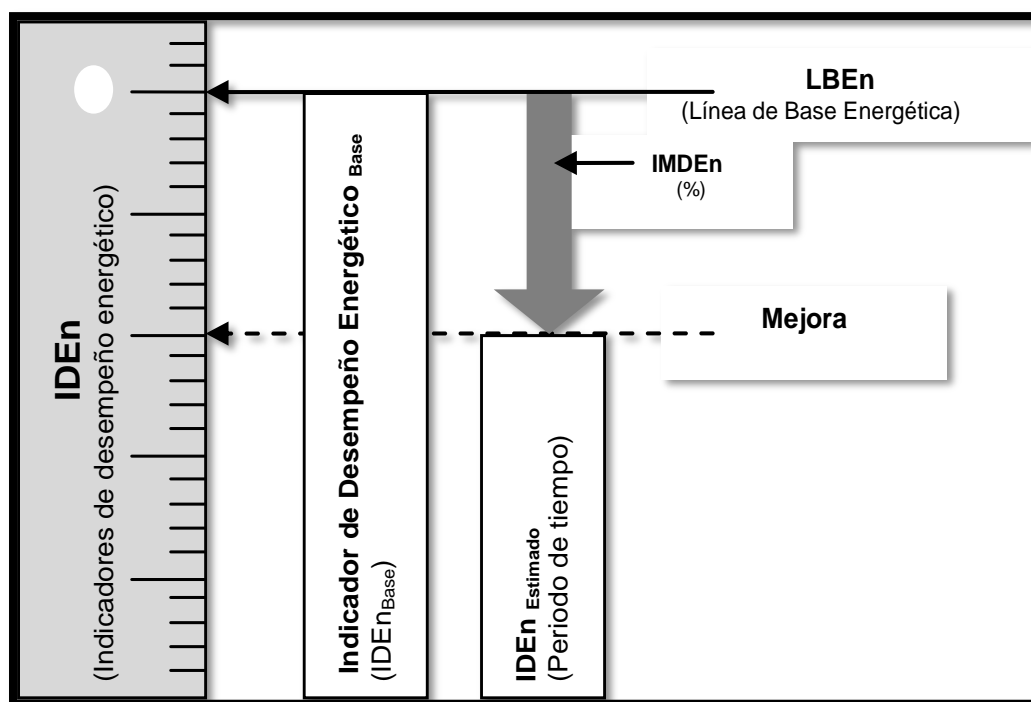


Figura 15. *Relación entre Ahorro Energético e Índice de Mejora de Desempeño Energético.*

Un último concepto relevante es el ahorro energético registrado, el cual utiliza la información monitoreada y registrada en forma continua por la estrategia de medición definida. Con esta información es viable poder integrar el ahorro de energía que se registró por medio de los diferentes instrumentos de medición durante la frecuencia definida.

3.3.6. Descripción de pasos a realizar para la estimación de línea de base, consumos energéticos y ahorros esperados

Con base a lo expuesto anteriormente y con el objeto de dar una síntesis de las actividades que se deberá realizar para estimar la eficiencia energética de los equipos, a continuación se listan las actividades fundamentales a desarrollar. Elaboración de un diagnóstico de áreas de oportunidad en las instalaciones de los equipos, para este caso los motores eléctricos de 1500 HP que son utilizados para la inyección de agua de formación que es un área de oportunidad o mejora.

- a.** Definición del perímetro sobre el cual se realizará una propuesta de eficiencia energética.
- b.** Realizar una propuesta de mejora en el uso y consumo de la energía.
- c.** Definir una estrategia de obtención de datos para sustentar la propuesta de eficiencia energética.
 - Utilizando datos históricos que el usuario de energía tenga a su disposición.
 - Realizando mediciones por un periodo de tiempo limitado pero significativo para la propuesta a desarrollarse.
- d.** Determinar el consumo de energía en la situación actual.
- e.** Caracterizar las variables medidas con el objeto de cuantificar el uso de la energía en la situación actual.
- f.** Obtener un indicador producto de dividir el consumo de energía entre su uso y expresado en trabajo, producción o energía transformada (IDEn).
- g.** Determinar la línea base (LBEn) de uso y consumo de la energía
- h.** Estimar un uso y consumo de la energía aplicando la propuesta tecnológica y expresada en términos del mismo IDEn estimado.

- i. Calcular el IMDEn utilizando el IDEn Base y el IDEn Esperado y con ello obtener el porcentaje de mejora en el desempeño energético
- j. Por diferencia entre la LBEn y el IDEn estimado calcular un ahorro en términos de energía

3.3.7. Variables relevantes, no relevantes y controladas para la estimación de la línea de base y consumos esperados

La estimación de la línea base, los consumos energéticos estimados y los ahorros esperados se construyen a partir de modelizaciones de variables vinculadas a los equipos o sistemas utilizados para mejorar el desempeño energético. Estos modelos utilizan variables que dan forma al comportamiento de las tecnologías bajo diferentes condiciones de operación siendo la base para poder determinar indicadores de desempeño energético base, estimados y reales. Existen diferentes tipos de variables que se van a usar para estimar el ahorro energético. A continuación se describen dichas variables:

- a. **Variables relevantes.** Las variables relevantes son aquellas que afectan el desempeño del uso de la energía por parte del equipo. Son la base de las modelizaciones y se puede concluir que variación en las mismas tienen un impacto en el uso y consumo de la energía. Estas variables son las que se van a usar para definir el desempeño de la propuesta y están en el ámbito del proponente de tecnología, para este caso en el motor eléctrico una variable relevante son las revoluciones por minuto (rev/min) ya que dependiendo del régimen de velocidad aplicado, se consumirá más o menos energía.
- b. **Variables no relevantes.** Las variables no relevantes son aquellas variables que no afectan el desempeño del equipo y no es importante que su valor cambie en el tiempo. Para fines de estimar el ahorro energético en este programa, una variable no relevante puede ser el tiempo de uso del motor ya que esta variable está en responsabilidad del

usuario de energía y no del proponente de la tecnología. El desempeño del equipo no se ve afectado si el motor se usa más o menos tiempo de lo normal debido a causas no imputadas al equipo.

- c. **Parámetros controlados.** Los parámetros controlados son variables que pueden controlarse y fijarse para asegurar ciertas condiciones de operación. Se establecerá los parámetros bajo los que va a estar trabajando el equipo para poder llevar a cabo las mediciones o ajustes de las variables de un equipo.

Tabla 168. *Variables relevantes, no relevantes y parámetros controlados en un motor eléctrico.*

| EQUIPO: MOTOR ELECTRICO | |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Variables relevantes | |
| Consumo de energía (kWh) | |
| RPM | |
| Variables NO relevantes | |
| Tiempo de operación | |
| Parámetros controlados | |
| Horas de operación | Se utiliza para realizar el comparativo de la operación actual con la operación propuesta |
| Velocidad síncrona | Se utiliza para alimentar la fórmula para obtener el valor de los HP de salida |
| Carga | Se utiliza para dar trazabilidad a los reportes de ahorro |
| Tensión | Fijar la tensión (voltaje) de entrada de la energía eléctrica |

En la tabla 38 se define ejemplificando una nueva tecnología, en este caso nuevo motor eléctrico, en donde se categorizan sus diferentes tipos de variables.

En el Anexo 13, Aplicación de la estadística para definir si una variable es relevante, se explica cómo determinar si una variable es relevante desde un punto de vista estadístico. Se proponen modelos predefinidos sobre los cuales se determinan los IDEn en una forma también estándar. Ellos se encuentran descritos en el Anexo 11.

3.3.8. Impacto del tiempo y la medición en proyectos de eficiencia energética

Como fundamento para determinar cualquier ahorro de energía es indispensable el factor tiempo. El tiempo es la base bajo el que se establecen los criterios de cálculo y revisión del ahorro energético. Existen 7 diferentes periodos de tiempo que son importantes definir ya que se estarán usando a lo largo de esta metodología:

- a. **Periodo de vida útil de la propuesta.** Es el periodo en el que se estima que la nueva instalación eficiente operará y proporcionará un ahorro al usuario de energía. El ahorro generado durante este tiempo menos la inversión realizada en esta propuesta será el beneficio neto que el usuario de la energía recibirá al haber implementado esta propuesta de eficiencia energética.
- b. **Periodo de compromiso garantizado.** Es el plazo del tiempo en donde esta propuesta se compromete a generar los ahorros estimados. El periodo establecido en esta propuesta.
- c. **Ciclo de verificación.** Es el periodo de tiempo en el cual, esta propuesta y el usuario de energía deberán calcular el ahorro generado para fines de cumplimiento. Para ello se deberá realizar un cálculo utilizando el periodo de medición controlada y los datos recolectados por los equipo de medición en ese periodo.

El equipo de gestión y el usuario de energía se comprometen a registrar la información en el sistema de reporte que se establezca para este efecto. Esta información servirá para evaluar el desarrollo de la propuesta de eficiencia energética y para tomar medidas anticipadas en caso de que la propuesta no esté cumpliendo con lo establecido.

- d. **Periodo de reporte preventivo.** Es un periodo opcional en donde el proponente de la tecnología y el usuario de energía se comprometen a revisar en periodos intermedios al periodo de verificación el desempeño del equipo instalado con el objeto de evaluar la

gestión realizada sobre el equipo y tomar medidas correctivas tempranas en la operación del mismo para maximizar su desempeño, permitiendo al usuario de la energía usar adecuadamente sus instalaciones y recursos.

- e. **Periodo de medición controlado.** Para fines de estimación del ahorro del periodo, se deberá contar con un periodo de obtención de datos significativo para que, realizada una medición controlada, se pueda proyectar el ahorro (estimado y efectivo). En este periodo se deberán usar la información recolectada por los equipos de medición como un sustento de este cálculo. Es importante comentar que este periodo debe ser representativo conforme a los ciclos operativos de la industria y a las variables relevantes para el modelo de ahorro energético.
- f. **Frecuencia de recolección de datos para medición.** Es el tiempo transcurrido entre una toma de datos y la siguiente. A menor tiempo de toma de datos, mayor es la precisión de la información, partiendo del hecho de que se cuenta con equipos debidamente calibrados.

Es importante tomar en cuenta la necesidad de disponer con un equipo de medición permanente durante el periodo de compromiso garantizado.

- g. **Tiempo de operación.** Es el tiempo que opera un equipo durante el periodo de reporte, y toma en cuenta el tiempo que el equipo estuvo (estará) operando y estuvo (o estará) parado. Se definen dos tipos de tiempo de operación:
- h. **El Tiempo Estimado de Operación.** Es el tiempo total menos los periodos en los que no está planificado operar por razones legales, festivas, almuerzos, mantenimientos programados, entre otros; lo que se denomina Paradas Planificadas.
- i. **El Tiempo Efectivo de Operación.** Es el tiempo total menos los periodos en los que el equipo NO operó por razones planificadas o NO planificadas. El tiempo se registra

usando los equipos de medición los mismos que registran los datos bajo una frecuencia de recolección.

Las mediciones deben ser precisas, repetibles, y los instrumentos de medición calibrados, así como contar con la trazabilidad de los valores medidos. La inexactitud en los instrumentos de medición debilitará la validez de los datos que se recopilan para análisis por insuficiencia de precisión.

Es importante considerar la calibración periódica de los equipos de acuerdo con las recomendaciones del fabricante para reducir este tipo de circunstancias y mostrar en los reportes la prueba de que el equipo está dentro del periodo de calibración correspondiente.

3.3.9. Impacto del tipo de tecnología en la estimación del ahorro energético

Las tecnologías seleccionadas para esta propuesta están acotadas y son conocidas por un gran número de proponentes de tecnología.

Se estandariza el cálculo de los IDEn las variables que se necesitan medir para calcular el uso y consumo de energía están plenamente identificados y con base en ello y con el objeto de facilitar el uso de estas variables y agilizar el proceso de definición de los IDEn para los proponentes de tecnología, se desarrolló en Anexo 11 “Fichas descriptivas y modelizaciones propuestas para cada tecnología.

En este documento se explica el funcionamiento de cada tecnología así como sus principales variable relevantes, no relevantes y parámetros controlados.

Así mismo se describe el modelo genérico bajo el cual se puede estimar el uso y consumo de energía para esa tecnología.

3.3.10. Consideraciones Económicas

El fundamento de esta propuesta es la capacidad de una nueva tecnología para generar un ahorro energético, y en consecuencia económico, que permitirá pagar el capital

financiero invertido en ella en un plazo determinado. En este caso, el capital financiero proviene en su mayoría de fondos propios.

Es muy importante considerar el importe del ahorro por periodo de verificación ya que el proponente de la tecnología se comprometa a instalar un equipo que bajo las condiciones acordadas y durante un plazo establecido genere el ahorro necesario para recuperar la inversión.

3.3.11. Definición de la inversión

Como parte de la evaluación financiera para determinar la viabilidad de la propuesta, es necesario determinar el monto de inversión necesario para instalar y operar el equipo propuesto. Es necesario que se detalle cada uno de los conceptos de inversión y gasto para poder determinar el total de recursos financieros destinados al proyecto.

Fundamentalmente existen 5 conceptos que se debe considerar para estimar el monto de la inversión:

1. Costo del equipo principal involucrado en la propuesta.
2. Costo de la instalación y de los equipos secundarios necesarios para operar el equipo principal.
3. Costo del mantenimiento durante todo el programa.
4. Costo financiero, considerando especialmente los intereses generados por el capital financiado por el intermediario financiero
5. Costo de los accesorios al programa (por ejemplo costos de medición y cobertura del riesgo)

En la tabla 38 se encuentra la descripción de la propuesta, misma que deberá de incluirse en la “INVERSIÓN A REALIZARSE”.

Tabla 39. *Presupuesto de la inversión*

| Presupuesto de inversión | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Categoría de inversión | Descripción | Monto |
| Equipo | Motor TECOWESTINGHOUSE | 22.0550,00 |
| Instalación | Montaje de motor | 14.300,00 |
| Costos operativos | Mantenimiento preventivo del motor | 16.000,00 |
| Costos financieros | Intereses de financiamiento a 4 años | 20.000,00 |
| Costos de medición | Sistema de monitoreo | 20.000,00 |
| Monto total | | \$ 290.850,00 |

3.3.12. Definición del ahorro económico de la propuesta de eficiencia energética

Existen diferentes definiciones de Ahorro Económico:

- a. **Ahorro Económico Estimado;** el ahorro que se usa para calcular el retorno de inversión y toma como base el Tiempo Estimado de Operación.
- b. **Ahorro Económico Registrado;** el Ahorro que se generó usando como base el Tiempo Efectivo de Operación. El valor es meramente informativo y no tiene repercusión. Ya que el departamento de Operaciones de Repsol puede decidir operar el equipo más o menos tiempo del estimado durante el periodo de verificación.
- c. **Afectación económica por inoperancia;** adicionalmente puede existir una afectación económica que se genera debido a la falta de operación del equipo durante un periodo de tiempo determinado, debido a causas imputadas al proyecto mismo y a causas ajenas al propietario del equipo.

Derivado de los cálculos efectuados en el apartado 3.4 sobre el ahorro obtenido por cada unidad de energía entregada es importante definir un precio pactado por unidad de energía consumida, mismo que se fijará durante la vida de la propuesta.

Esto arrojará el ahorro económico por periodo, mismo que servirá de referencia, junto con el costo por unidad de consumo y las unidades pactadas de entrega de energía transformada, para establecer las condiciones contractuales que prevalecerán.

3.3.13. Ahorro Económico Estimado

$$\begin{aligned} \text{Ahorro económico estimado del periodo} &= (\text{IDEn}_{\text{Base}} - \text{IDEn}_{\text{Estimado}}) \times \\ &\quad \text{Tiempo Estimado de Operación} \times \\ &\quad \text{Unidades pactadas de entrega de energía transformada} \times \\ &\quad \text{Costo pactado de la unidad de consumo} \end{aligned}$$

En dónde:

- ✓ **IDEn_{Base}**, es el Indicador de Desempeño Energético Base de las condiciones de medición actuales.
- ✓ **IDEn_{Estimado}**, es el Indicador de Desempeño Energético Estimado de acuerdo al conocimiento del proponente de su tecnología.
- ✓ **Tiempo Estimado de Operación**, es el Tiempo estimado que el equipo estará operando en el ciclo de verificación.
- ✓ **Unidades pactadas de energía transformada**, es la Energía de salida de acuerdo al equipo propuesto.
- ✓ **Costo pactado de la unidad de consumo de energía**, es el precio unitario de la energía demandada.

Partiendo del caso propuesto sobre un motor en esta propuesta, el cálculo de ahorro económico estimado del periodo se muestra a continuación:

1. Se obtiene el promedio correspondiente al $\text{IDEn}_{\text{Base}}$ que para este caso es igual a 19.6 kWh/HP_{salida}

2. Se obtiene el promedio correspondiente al $IDEn_{Estimado}$ que para este caso es igual a $8.1 \text{ kWh}/HP_{salida}$
3. Se resta el $IDEn_{Estimado}$ al $IDEn_{Base}$ para obtener la tasa de ahorro por unidad entregada que en este caso igual a $11.5 \text{ kWh}/HP_{salida}$
4. Se obtiene el número de unidades pactadas a entregarse en el periodo que resulta de la multiplicación de la energía entregada (HP_{salida}) en un día por 182 días que comprenden un semestre. El resultado obtenido es $3,640 \text{ HP}_{salida}/\text{Semestrales}$
5. Finalmente, se multiplican los resultados de los puntos 3 y 4 por el precio pactado de la energía consumida ($\$/\text{kWh}$), que en este caso es $1.55 \text{ \$/kWh}$
6. El resultado será $11.5 \text{ kWh}/HP_{salida} * 3,640 \text{ HP}_{salida}/\text{Semestrales} * 1.55 \text{ \$/kWh}$
7. Este cálculo es equivalente a $\$64,682.25$ utilizando la precisión de la hoja de cálculo aplicada.

Ahorro económico registrado del periodo = $(IDEn_{Base} - IDEn_{Registrado}) \times$

Tiempo Registrado de Operación \times Unidades registradas entregadas \times

Costo pactado de la unidad de consumo

En dónde;

- ✓ **$IDEn_{Base}$** , es el Indicador de Desempeño Energético Base de las condiciones de medición de referencia
- ✓ **$IDEn_{Registrado}$** , es el Indicador de Desempeño Energético Registrado que se toma de manera continua y se construye con los datos de los instrumentos de medición instalados.
- ✓ **Tiempo Registrado de Operación**, es el Tiempo continuo de registros de datos.
- ✓ **Costo pactado de la unidad de consumo de energía**, es el Precio unitario de la energía demandada

Afectación económica por inoperancia

Cuando el equipo está parado por su mal funcionamiento, descompostura o cualquier otra causa imputada al equipo (no a causas ajenas) por lo tanto imputada al proponente de la tecnología, la afectación se puede calcular de la siguiente manera:

Afectación económica por inoperancia

$$= \text{Tiempo de Inoperancia} \times \text{Costo pactado por inoperancia}$$

Tiempo de Inoperancia, es el tiempo que se encuentra el equipo se encuentra fuera de operación imputable al proponente tecnológico.

Ejemplo. Supongamos que el equipo estuvo parado 1 semana, y el Tiempo Estimado de Operación por día es de 8 horas en 5 días, por lo que el Tiempo Estimado de Operación por día es de 40 horas.

El costo pactado por inoperancia, es un costo que se acuerda entre el Cliente y el proponente de tecnología. Y puede ser una combinación del Ahorro Energético no generado y un costo por daños derivados de afectación a la producción.

$$\text{Ahorro Energético no generado por inoperancia} = (\text{IDEn}_{\text{Base}} - \text{IDEn}_{\text{Efectivo}}) \times \text{Tiempo de Inoperancia} \times \text{Costo pactado de la unidad de consumo de energía}$$

3.3.14. Definición de periodo simple de recuperación de la inversión

El periodo simple de retorno de la inversión es una de las técnicas más sencillas para evaluar la viabilidad de un proyecto de inversión.

Teniendo como virtud su sencillez de cálculo tiene por desventaja que no refleja los beneficios posteriores una vez que la inversión fue recuperada. Para un análisis más profundo, la propuesta de la tecnología o el usuario de energía podrán utilizar técnicas

como el valor presente neto y la tasa interna de retorno para llegar a conclusiones más precisas, involucrando el valor del dinero en el tiempo y el efecto del ahorro durante toda la vida de la propuesta y no solo en el periodo de recuperación.

Para efectos de esta propuesta es relevante determinar el periodo de retorno de la inversión como una variable que determinará el financiamiento a pedir y si es razonable el tiempo solicitado. En este sentido una tecnología que normalmente se recupera en 2 años haría ver como poco viable un proyecto de la misma tecnología que se recupere en 5 años.

El método consiste en medir el tiempo (meses, años, entre otros.) que tarda un inversionista para recuperar el capital invertido mediante los beneficios resultantes (ahorros de energía eléctrica por ejemplo). El número de meses o años recibe el nombre de período de recuperación.

Se consideran todos los costos en términos nominales y no se considera el valor del dinero en el tiempo. El criterio de aceptación de la propuesta lo establece el inversionista definiendo el período máximo en que debe de recuperarse la inversión.

$$\text{Período simple de recuperación} = \frac{\text{Inversión efectuada}}{\text{Ahorro generado}}$$

En dónde;

Inversión efectuada: es el monto establecido en el punto

Ahorro generado: es el punto establecido en el punto

El tiempo de recuperación es simple, debido a que no se considera el valor del dinero en el tiempo. Los datos obtenidos en este apartado deberán registrarse en el apartado consideraciones económicas en la tabla 40.

Tabla 40. *Consideraciones económicas*

| Consideraciones económicas | |
|---------------------------------------------------------|--------------------------|
| Contiene el ahorro proyectado acorde a la línea de base | |
| Periodo de reporte acordado | 4 periodos semestrales |
| Ahorro energético proyectado (en energía) por periodo | 32416,80 kWh |
| Valor del ahorro proyectado | \$ 64 682,25 semestrales |
| Índice de eficiencia energética | 58.1 |
| Periodo de retorno de inversión (años) | 2 |
| Costo pactado en la energía consumida | 1.55 \$/kWh |

3.3.15. Reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (CO₂e)

Una alternativa para expresar los beneficios adicionales asociados a los resultados obtenidos por el ahorro de energía alcanzado en cada proyecto de eficiencia energética, es la cuantificación de reducciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en unidades de CO₂e.

Para lograr lo anterior, es necesario tomar en consideración la fuente de energía asociada a la actividad principal de Repsol y su tecnología correspondiente, ya que de estos elementos depende el enfoque metodológico aplicable para la cuantificación de reducciones, de acuerdo con las categorías que para fines operativos del presente proyecto se ha definido y que se muestran a continuación:

Tabla 4117. *Categorías de proyectos de eficiencia energética*

| Categoría de proyecto | Fuente de energía | Ejemplo de tecnología |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------|
| Combinado | Mixta | Cogeneración Motores |
| Eléctrico | Electricidad | Aire comprimido Aire acondicionado Refrigeración |
| Combustión Estacionaria | Fósil | Calderas Precalentamiento |

3.3.16. Cuantificación de emisiones reducidas para un Proyecto de Tipo Eléctrico

La reducción de emisiones de GEI para un Proyecto Eléctrico debe ser cuantificada aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Reducción de emisiones de GEI} = (C_{\text{energía eléc ahorrada}} \times \text{FE}) \times 1000 \quad (20)$$

En donde:

Reducción de emisiones de GEI: es la cantidad de Gases de Efecto Invernadero reducidos como consecuencia de los ahorros logrados en el consumo de electricidad (kgCO₂e)

C energía eléctrica ahorrada: es el consumo de energía eléctrica ahorrada como resultado de la propuesta (kWh) por implementar un nuevo motor eléctrico.

FE: es el Factor de emisión de GEI por consumo de energía eléctrica para el año correspondiente (tonCO₂e/kWh)¹

Tabla 42. *Cálculo de reducción de emisiones de CO₂*

| Reducción de emisiones de CO₂ | | | | |
|-------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------|
| Consumo evitado | | | Factor de Emisión | |
| KWh | | | Ton CO ₂ / kWh | |
| 32 416,80 | | | 0,000499 | |
| Emisiones de CO ₂ e evitadas / año | | | 16.18 | |
| | Consumo eléctrico del Bloque 16 | Unidades de medida física | Factor de emisión (Kg de CO ₂ eq/kWh) | |
| Electricidad | 95890 | kWh | 0,385 | Kg de CO ₂ eq/kWh |
| | | | | 36917,65 |

El resultado de estos cálculos se puede observar en la tabla 42 reducciones de emisiones de CO₂, en un año por la implementación de un nuevo motor eléctrico de mayor eficiencia en un año, respecto al consumo del Bloque 16, un motor representa una reducción de emisiones del 0.04 %.

3.3.17. Implementación y Operación

En esta etapa se tendrá que dar marcha a la implementación de la propuesta, de acuerdo al plan de trabajo desarrollado y validado anteriormente, tendrá que tomar en cuenta el proceso de medición que se estructuró en la validación de la propuesta.

Se tendrán que tomar en cuenta los siguientes criterios:

- a. Verificación técnica de la propuesta; equipos instalados correspondan a lo especificado a la validación del propuesta, certificado de equipos, componentes para su instalación, cálculos de instalación, normatividad aplicable.
- b. Proceso de Medición; características de los equipos de medición, proceso de recopilación de datos de datos (variables, fuentes, tipos de medición), análisis de datos, resguardo (bitácoras, reportes, facturas, entre otros), reporte de resultados (congruente con metodología).
- c. Disposición de Residuos, comprobantes de disposición de residuos por empresas autorizadas para su manejo, cumplimiento con la normatividad ambiental (ver anexo 2)

3.3.18. Obtención de resultados

Durante este paso el desempeño se determina con base en el análisis y resultado del levantamiento de datos. El análisis debe ser de acuerdo con el límite de la propuesta, los periodos de tiempo, la frecuencia de los datos y las variables a seguir.

Dado que, se incluyen valores mínimos y máximos de ahorro de energía, cualquier ajuste no rutinario o cambios trascendentes deben registrarse. Las observaciones correspondientes deben informarse y registrarse.

Informe documentado donde se establece el compartir los resultados a intervalos definidos y correspondientes con el periodo de entrega establecido en el cronograma de trabajo para los proyectos de eficiencia energética.

El informe debe contener:

- ✓ Lista de variables a medir;
- ✓ Instrumentos de medición utilizados;
- ✓ Calibración de los instrumentos de medición;
- ✓ Trazabilidad de los datos obtenidos;
- ✓ Periodo de reporte; y

- ✓ Grafica que relaciona el $IDEn_{Base}$, el $IDEn_{Efectivo}$ y el Índice de mejora en porcentaje.

3.3.19. Verificación de resultados y conclusión de la propuesta

Se desarrollará en caso de que existan inconsistencias o diferencias entre el proponente de tecnología y el cliente, para tal caso se tendrá que acudir a un tercero para que constate los resultados obtenidos y emita su fallo.

El tercero para ratificar datos se apoya de diversos documentos (Formato de validación de proyecto, formato de verificación de proyecto implementado) además de realizar tareas como:

- a) Analizar cálculo de Indicadores de Desempeño Energético (todos)
- b) Analizar reportes preventivos con su respaldo de trazabilidad
- c) Analizar consistencia de datos
- d) Identificar inconsistencias entre los datos registrados y los datos reportados
- e) Comparar $IDEn_{Base}$ contra $IDEn_{Efectivo}$
- f) Visita de campo para identificar métodos de trazabilidad
- g) Corroborar Calibración de equipos de medición
- h) Emitir declaración de verificación de datos de resultado

3.3.20. Cronograma de Trabajo

Se establece un plan de trabajo de la instalación del equipo.

3.3.21. Estructura del Cronograma

El cronograma de trabajo desglosa razonablemente las actividades necesarias para desarrollar la nueva instalación.

El formato al cual deberá apegarse está contenido en el apartado de cronograma de trabajo. El proveedor deberá presentar un estimado general de tiempos y responsables para

las actividades señaladas, la fecha a consignar corresponde a la terminación de cada actividad.

Este cronograma general será la base para la planificación de las actividades posteriores de validación y verificación de la propuesta, como mínimo presentar la siguiente información:

Tabla 43. *Cronograma*

| Actividad | Responsable | Tiempo | | | | | | | | |
|------------------------------------------------|--------------------------------|--------|--|--|-------|---|--|-------|---|---|
| | | MES 1 | | | MES 2 | | | MES 3 | | |
| Generación de orden de compra del motor | Proveedor | X | | | | | | | | |
| Recibo de anticipo por el 30% | Usuario | X | | | | | | | | |
| Embarque del motor a instalaciones del cliente | Fabricante / Proveedor | | | | X | | | | | |
| Instalación del motor | Proveedor | | | | | X | | X | | |
| Verificación de la propuesta | Equipo verificador y proveedor | | | | | | | | X | |
| Liberación de la tecnología | Usuario y proveedor | | | | | | | | | X |
| Pago de finiquito | Usuario | | | | | | | | | X |

- ✓ Describir los trabajos de obra civil e instalación electromecánica que serán necesarias para hacer la instalación del equipo y su congruencia de tiempos
- ✓ Indicar fecha compromiso de entrega e instalación
- ✓ Indicar fecha compromiso para recibir en ente verificador
- ✓ Indicar fechas de pagos, entrega de informes y medición

3.3.22. Recomendaciones para estructurar un cronograma de trabajo

A continuación se incluyen una serie de recomendaciones necesarias para estructurar un cronograma de trabajo alcanzable:

- ✓ La definición de plazo para que la nueva instalación inicie operaciones es indispensable ya que sobre ella descansan diferentes mecanismos financieros como es la gracia de capital y el plazo de recuperación de la inversión.
- ✓ Cualquier demora en el inicio de actividades del nuevo equipo será responsabilidad del proponente de tecnología y tendrá un impacto económico directo sobre él.
- ✓ Una de las etapas críticas de la instalación es la entrega del equipo principal en virtud de que muchos de ellos se producen sobre pedido. El proponente de tecnología debe tomar sus precauciones para asegurar el cumplimiento del plazo de entrega.
- ✓ El proponente de tecnología deberá considerar tiempos de holgura razonables para evitar falsas expectativas durante la puesta en marcha de la nueva instalación.

3.3.23. Evaluación socio-económico-ambiental de la propuesta

El propósito de evaluación socioeconómica de un proyecto es conocer la probabilidad que un proyecto propuesto contribuya en grado significativo al desarrollo de la economía en su conjunto y su contribución sea justificable para la utilización de escasos recursos que se necesiten. El punto de vista que se adopta en el análisis económico es el de la sociedad como un todo.

3.4. Conclusiones y recomendaciones

3.4.1 Conclusiones

1. Al realizar el balance de energía se pudo identificar los sistemas de mayor consumo de energía eléctrica y proponer la reducción de costos por el buen uso de la energía, ya que los equipos trabajaran a su condición normal de operación, es decir cercano a su potencia nominal, esto influirá en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el diagnóstico propone una gestión eficiente de energía no solo en ahorro de costos, es un compromiso hacia un futuro mejor y a tener un planeta sostenible.
2. Con la definición y seguimiento de los indicadores de desempeño energético se obtendrá una mejora en el desempeño energético, por lo tanto cumple lo que establece la norma internacional ISO 50001 que se basa en el ciclo de mejora continua Planificar- Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) en los sistemas de levantamiento artificial, inyección de agua y transporte de crudo son valores cuantitativos y medidos del desempeño energético y fueron definidos con la organización en este caso Repsol (Ítem 3.13), así poder obtener la certificación de la norma ISO 50001 que establece que la organización integre la variable energética en el sistema de gestión.
3. La mejora continua permite que la gestión de la energía consiga beneficios sistemáticos cada año

3.4.2. Recomendaciones

1. Se recomienda realizar una inversión en la adquisición de nuevos motores de una capacidad de 1500 HP para las bombas de inyección del sistema de inyección de agua de formación, estos motores son construidos con una nueva tecnología y son más eficientes de los que se encuentran operando desde el año 2000 el cual inicio las operaciones Repsol.

2. Repsol asumirá el compromiso de utilizar eficientemente la energía en sus instalaciones y actividades con el propósito de preservar los recursos naturales, reducir las emisiones atmosféricas y contribuir a mitigar los efectos del cambio climático.
3. Repsol establecerá objetivos y metas de mejora del desempeño energético, para su consecución, la Dirección asegurará la disponibilidad de la información y los recursos necesarios, adicional Repsol considerará que "cumplir y hacer cumplir" esta política es responsabilidad de todas las personas que participan en sus actividades.
4. La Dirección deberá liderar e impulsar los programas de eficiencia energética, asegurando que la organización trabaje de acuerdo con los principios establecidos en esta política, en función de los análisis y conclusiones, se recomienda que las actividades que Repsol implemente con miras al ahorro energético y se inicien en las instalaciones que disponen la mayor cantidad de potencial de ahorro, que son:
 - a) IRO A
 - b) SPF (FACILIDADES DE PRODUCCIÓN SUR)
 - c) NPF
 - d) GINTA B
 - e) DAIMI A
 - f) DAIMI B
 - g) AMO A
 - h) AMO B
 - i) AMO C
5. Implementar los niveles mínimos de eficiencia y desempeño energético a ser aplicados por los proveedores de equipos BES (Bombas Electro Sumergibles), realizando medición de variables eléctricas con mayor periodicidad o de forma continua en el

sistema de Levantamiento Artificial, por ser el sistema de mayor intensidad y consumo y de menor eficiencia.

6. Elaborar y ejecutar un plan de mantenimiento de los dispositivos de medición de variables operativas, especialmente de aquellos que miden consumo eléctrico en los equipos de las facilidades con mediciones puntuales de forma manual con una determinada frecuencia en los sistemas de Separación, Inyección de Agua y Transporte de Crudo con el fin de levantar la incertidumbre de medidas.
7. Analizar la posibilidad de cambiar los instrumentos de medición de flujo en el sistema de inyección de agua, debido a su alta vida de operación.

Bibliografía

- Cegarra, J. (2011). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid: Díaz de Santos.
- Díaz, V. (2009). *Metodología de la investigación científica y bioestadística para profesionales y estudiantes de ciencias de la salud*. Santiago: RiL.
- Giampaolo, T. (2009). *Gas Turbine Handbook Principles and Practice*. Florida: The Fairmont Press.
- Gómez de León, F. C. (1998). *Tecnología del Mantenimiento Industrial*. Murcia: Servicio de Publicaciones Universidad de Murcia.
- *Industrial gas turbines Performance and operability* 2007 Florida CRC Press
- Muñoz, M. B. (2003). *Mantenimiento Industrial*. Recuperado de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/tecnologia-de-maquinas/material-de-clase-1/MANTENIMIENTO.pdf>
- Olympus. (n.d.). *IPLEX FX*. Retrieved Octubre 2015, Recuperado de <http://www.olympus-ims.com/es/rvi-products/ipler-fx/>
- OpexEnergy. (n.d.). *Opex Energy*. Retrieved, Recuperado de http://opex-energy.com/ciclos/optimizacion_del_rendimiento_CTCC.html
- Tamayo y Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa.
- Testo. (n.d.). *Sistema Portátil de Análisis de Productos de la Combustión testo 350*. Retrieved Octubre 2015, Recuperado de http://www.baldorsrl.com.ar/informe_manuales/t350_sxl.pdf
- Escuela de Organización Industrial, (EOI). Norma UNE 216501:2009 Requisitos de las auditorías energéticas España Junio 2010
- Consejo Nacional de Electrificación (CONELEC). (2012) Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, Recuperado de <http://www.conelec.gob.ec>
- Cegarra, J. (2011). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid: Díaz de Santos.

- Díaz, V. (2009). Metodología de la investigación científica y bioestadística para profesionales y estudiantes de ciencias de la salud. Santiago: RiL.
- Fraile, D. (2008). Cogeneración: Aspectos Tecnológicos. EOI.
- GE, I. S. (2009). G60 Generator Management Relay. Recuperado el Octubre de 2015, de UR Series Instruction Manual, Recuperado de <http://www.gegridsolutions.com/products/manuals/g60/g60man-f4.pdf>
- Tamayo y Tamayo, M. (2004). El proceso de la investigación científica . México: Limusa.
- Testo. (s.f.). Sistema Portátil de Análisis de Productos de la Combustión testo 350. Recuperado de http://www.baldorsrl.com.ar/informe_manuales/t350_sxl.pdf
- Metodología para estructurar proyectos de eficiencia energética (MEPEE) Octubre, 2015

ANEXOS