



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCION DE POSGRADOS

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

Título:

**“DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS DE
1500 HP DEL BLOQUE 16 DE REPSOL EN EL AÑO 2013.
PROPUESTA DE UN ESQUEMA DE GESTIÓN CONTÍNUA DE LA
EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCION”.**

Autor: VEINTIMILLA Bautista, Raúl

Tutor: MSC MULLO Quevedo Álvaro

LATACUNGA – ECUADOR

Noviembre – 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADO

Latacunga – Ecuador

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe en consideración de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Raúl Hernán Veintimilla Bautista, con el título de tesis: **“Diagnóstico energético de las bombas centrifugas de 1500 hp del bloque 16 de Repsol en el año 2013. Propuesta de un esquema de gestión continua de la eficiencia energética para optimizar la producción”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Proyecto de Investigación.

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

Latacunga, Noviembre de 2017

Para constancia firman:

Para constancia firman:

MSc. LEON SEGOVIA MIGUEL ANGEL
Cc 0502041353
PRESIDENTE

Ph.D. RODRIGUEZ BARCENAS GUSTAVO
Cc 1757001357
MIEMBRO

MSc. GALLARDO MOLINA CRISTIAN FABIAN
Cc 0502847692
MIEMBRO

Ph.D. LAURENCIO ALFONSO HECTOR
Cc: 1712813
OPONENTE

AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

Latacunga, Noviembre de 2017

En mi calidad de Director de Tesis presentada por el Ing. Veintimilla Bautista Raúl Hernán, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es **“DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS DE 1500 HP DEL BLOQUE 16 DE REPSOL EN EL AÑO 2013. PROPUESTA DE UN ESQUEMA DE GESTIÓN CONTÍNUA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCION”**.

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

Ing. MSc. Álvaro Mullo

**DIRECTOR DEL PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE TESIS

Yo, Raúl Hernán Veintimilla Bautista, portador del número de cédula 0502832389, declaro que el presente Proyecto de Investigación y Desarrollo, es fruto de mi esfuerzo, responsabilidad y disciplina, logrando que los objetivos propuestos se culminen con éxito.

Atentamente

Raúl Hernán Veintimilla Bautista

C.I. 0502832389

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y la Virgencita María, por brindarme su amor y darme la fortaleza para culminar un objetivo más, en este camino que se lo construye con esfuerzo, sacrificio y dedicación.

Quiero agradecer a mi tutor, Álvaro Mullo Quevedo que con su sencillez y amistad pero lleno de conocimientos, supo guiarme hasta culminar el Proyecto de Investigación.

A todos los maestros y autoridades de Posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi que con su granito de arena aportaron y encaminaron a lograr esta maestría.

Raúl Hernán

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a las personas que sin duda son mi vida entera a ti Gabriela Mercedes, por tu apoyo incondicional, a mi amado hijo Matías Rafael y la luz que ilumina mi vida Pauleth Isabella.

A mis queridos y siempre amados Padres Juan José y Rosita quienes me enseñaron el don de la sencillez y humildad.

A mis hermanos quienes me brindaron su apoyo, amor, por tanta paciencia que me han tenido y me han demostrado que la unidad es la base para seguir flotando.

Y a todas las personas que hacen que la vida siga siendo simplemente FELIZ.

Raúl Hernán

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS DE 1500 HP DEL BLOQUE 16 DE REPSOL EN EL AÑO 2013. PROPUESTA DE UN ESQUEMA DE GESTIÓN CONTINUA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN.

AUTOR: VEINTIMILLA Bautista, Raúl

TUTOR: Ing. MSc. MULLO Álvaro

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objeto evaluar el consumo de las bombas de 1500 Hp del Bloque 16 de Repsol mediante un diagnóstico que permita la optimización energética. La necesidad de este estudio radica en el aumento paulatino del agua de formación que se extrae conjuntamente con el crudo y debido a ello se presenta el problema de la reinyección de esta agua de formación razón por la cual se realiza el análisis energético del sistema de reinyección empleado. El proceso de bombeo de agua en el Bloque 16 de Repsol cuenta con una alta demanda de energía eléctrica que bordea los 98 MW esto se debe a una extracción de fluido alrededor de los 900.000 barriles diarios.

Las bombas centrífugas de reinyección de agua son las mayores consumidoras de energía dentro de todo el Bloque 16 de Repsol. Este estudio se lo realiza en las Facilidades de Producción Norte (NPF) cuyo objeto de estudio referencian a tres bombas de alta presión de 1500 Hp la bomba de Capirón A-18:M1 que reinyecta el 25% del total de agua, seguida por el Bogi 1UWD con el 19% y finalmente el Tivacuno A2WD con el 18%. La elaboración del estudio parte siempre de la exploración visual y se contrarresta con información proporcionada por operadores y técnicos de la planta, quienes serán los primeros voceros de implementar el nuevo plan de medidas operativas y mantenimientos de Repsol.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

POSTGRADUATE UNIT

MASTER IN ENERGY MANAGEMENT

ENERGY DIAGNOSIS OF THE CENTRIFUGAL PUMPS OF 1500 HP OF BLOCK 16 OF REPSOL IN THE YEAR 2013. PROPOSAL OF A SCHEME OF CONTINUOUS MANAGEMENT OF THE ENERGY EFFICIENCY TO OPTIMIZE THE PRODUCTION.

AUTOR: VEINTIMILLA Bautista, Raúl

TUTOR: Ing. MSc. MULLO Álvaro

ABSTRACT

The objective of this project is the consumption of the 1500 HP pumps of Block 16 of Repsol through a diagnosis that allows energy optimization. The need for this study lies in the gradual increase of the water of the formation that extracted together with the crude oil and the problem of the reinjection of this water may rise, the reason why the energy analysis of the reinjection system used. The water pumping process in the Block 16 of Repsol has a high demand for electricity that is around 98 MW. This is due to a liquid extraction of 900.00 barrels. Centrifugal water reinjection pumps for the largest energy consumers within the entire Block 16 of Repsol. This study does in the North Production Facilities (NPF) whose object of study refers to three pumps of high pressure of 1500 Hp the pump of Capiron A18:M1 that re-injects 25% of the total water, followed by the Bogi 1 UWD whit 19% and finally the Tivacunno A2WD with 18%. The elaboration of study always starts from the visual exploration and responded by the information provided by operators and technicians of the plant, who are the first to implement the new plan of operational measures and maintenance of Repsol.

AVAL DE TRADUCCIÓN

ÍNDICE

CONTENIDOS	PÁGINAS
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	ii
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS	iii
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE TESIS.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
AVAL DE TRADUCCIÓN	ix
ÍNDICE	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
INTRODUCCIÓN	1
SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	3
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
OBJETIVOS	5
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
HIPÓTESIS.....	5
CAPÍTULO I.....	6
MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO	6
1.1 Antecedentes de la investigación	6
1.2 Contexto energético ecuatoriano.....	7
1.3 Procesos en el Bloque 16 Repsol	7
1.3.1 El proceso productivo Bloque 16 Repsol	7
1.3.2 Proceso de Generación eléctrica Bloque 16 Repsol.....	8
1.4 Proceso de Separación.....	10
1.5 Fundamentación teórica científica	14
1.5.1 Concepto de bomba.....	14
1.5.2 Concepto de bomba Centrífuga	14

1.5.3	Funcionamiento de bomba Centrífuga.....	15
1.5.4	Partes de una bomba centrífuga.....	16
1.5.5	Altura efectiva de bombeo.....	17
1.5.6	Altura neta de succión positiva disponible (NPSH).....	18
1.5.7	Altura neta de succión positiva disponible requerida (NPSH).....	19
1.5.8	Bomba Centrífuga mono etapa.....	19
1.5.9	Bombas centrífugas multi-etapas.....	20
1.5.10	Curvas características de bombas centrífugas.....	21
1.5.11	Motores eléctricos.....	23
1.5.12	Partes de un motor de inducción.....	23
1.5.13	Potencia del motor eléctrico de inducción.....	24
1.5.14	Rendimiento de motor.....	25
1.5.15	Diagnóstico energético.....	25
1.5.16	Norma ISO 50001.....	26
1.5.17	Definición de términos.....	27
CAPÍTULO II		28
MARCO TEÓRICO		28
2.1	Modalidad de la investigación.....	28
2.1.1	Tipo de investigación.....	29
2.2	Diseño de la investigación.....	29
2.3	Población y muestra.....	31
2.4	Operacionalización de las variables.....	32
2.5	Instrumentos de la investigación.....	34
2.5.1	Presión de trabajo.....	34
2.5.2	Caudal de bombas.....	35
2.5.3	Corrientes de operación.....	36
2.6	Fuentes de información.....	36
CAPÍTULO III		37
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		37
3.1	Indicadores de generación eléctrica de Repsol.....	37
3.2	Tanques T-1118 A y T-1118 B de agua de formación.....	38
3.3	Presión cabeza de tanques T-1118 A y T-1118 B.....	39
3.4	Bombas Booster.....	40
3.5	Bombas Intermedias.....	47

3.6	Bombas de reinyección	49
3.7	Mejora de la eficiencia energética de las Bombas Booster con la utilización de variadores de velocidad.....	52
3.8	Energía consumida antes y después de la instalación de los variadores para bombas de 250 HP.	52
3.9	Mantenimiento predictivo tableros eléctricos.	55
3.9.1	Justificación sobre termografía a la industria.	55
3.9.2	Incrementos de Temperatura.	56
3.10	Mantenimiento predictivo en base a vibraciones en bombas centrífugas.....	58
3.11	Análisis Interno Horizontal.	58
3.12	Análisis Interno Vertical.	59
3.13	Análisis Interno Axial.	60
	CAPÍTULO IV.....	63
	LA PROPUESTA.....	63
4.1	Título de la propuesta.....	63
4.2	Justificación.....	63
4.3	Objetivo.....	64
4.4	Estructura de la propuesta	64
4.4.1	Departamento de Mantenimiento predictivo	65
4.4.2	Departamento de Mantenimiento Eléctrico	67
4.4.3	Operaciones de Producción	69
4.4.4	Curvas de operación bombas centrífugas Capirón A-18:M1 Tag: P1079F.....	74
4.4.5	Curvas de operación bombas centrífugas Bogi 1UWD Tag: P1079 C.....	75
4.4.6	Curvas de operación bombas centrífugas Tivacuno A2WD Tag: P1079D	76
4.4.7	Análisis del punto de operación de Bombas Centrífugas de 1500 Hp.	77
4.4.8	Bomba Capirón A-18:M1 Tag: P1079F	78
4.4.9	Bomba Bogi 1UWD Tag: P1079 C	79
4.4.10	Tivacuno A2WD Tag: P1079 D	80
4.4.11	Análisis Económico.....	81
4.5	Verificación de la hipótesis.....	82
	RECOMENDACIONES	85
	ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Proceso productivo Bloque 16.....	8
Figura 1.2 Proceso Generación Bloque 16.....	9
Figura 1.3 Funcionamiento FWKO.....	10
Figura 1.4 Funcionamiento Intercambiador de Calor	11
Figura 1.5 Funcionamiento Intercambiador de Calor	11
Figura 1.6 Funcionamiento Intercambiador de Calor	12
Figura 1.7 Funcionamiento Intercambiador de Calor	13
Figura 1.8 Funcionamiento Intercambiador de Calor	13
Figura 1.9 Bomba Centrífuga.....	15
Figura 1.10 Funcionamiento Bomba.....	16
Figura 1.11 Altura efectiva en bombas	17
Figura 1.12 Bomba centrífuga mono etapa	20
Figura 1.13 Bomba multietapas Sulzer1	21
Figura 1.14 Curvas características Bombas	22
Figura 1.15 Conexión típica de motor 1.....	24
Figura 2. 1 Diseño de la Investigación.....	30
Figura 2.2 Reinyección de agua NPF.....	31
Figura 2.3 Producción Boggi-Capirón1	32
Figura 2.4 Manómetro a la succión de la bomba	34
Figura 2.5 Manómetro a la descarga de la bomba	35
Figura 2.6 Transmisor de flujo bomba centrífuga.....	35
Figura 2.7 Relé de seguridad Multilin 469.....	36
Figura 3.1 Energía generada por campo y combustible Repsol.....	38
Figura 3.2 Tanques agua T-1118 A y T-1118 B de agua de formación.....	39
Figura 3.3 Disposición de bombas Booster.....	40
Figura 3.4 Curva de operación de bomba Booster P1121 A.....	42
Figura 3.5 Curva de operación de bomba Booster P1121 B	43
Figura 3.6 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1121 C	44
Figura 3.7 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1121 D.....	46
Figura 3.8 Cortocircuito Bracker principal bomba P1121 D	46
Figura 3.9 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1119A.....	47
Figura 3.10 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1119B	48

Figura 3.11 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1119D.....	49
Figura 3.12 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1079-F	50
Figura 3.13 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1079-C.....	51
Figura 3.14 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1079D.....	51
Figura 3.15 Curva de consumo energético de Bomba Booster P1121 B.	54
Figura 3.16 Gráfica de valores comparativos de energía consumida por la Bomba Booster P1121 B sin variador y con variador de frecuencia.....	54
Figura 3.17 Análisis Térmico de fases bomba P1121 A.....	57
Figura 3.18 Vibraciones bomba P1079 F interno horizontal	59
Figura 3.19 Vibraciones bomba P1079 F interno vertical	60
Figura 3.20 Vibraciones bomba P1079 F interno axial.....	61
Figura 3.21 Vibraciones bomba P1079 F Externo axial	62
Figura 4.1 Estructura de la propuesta.....	65
Figura 4.2 Equipo de medición predictivo CSI 2130.....	67
Figura 4.3 Equipo de medición predictivo FLUKE T150FP	68
Figura 4.4 Estructura para el área operativa.....	70
Figura 4.5 Plantilla para el cálculo de eficiencia de equipos inyección de agua NPF	72
Figura 4.6 Generación Center Line de Bombas de agua NPF	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Operacionalización de las variables	33
Tabla 3.1 Características de fabricante bomba Booster P1121 A	41
Tabla 3.2 Características de fabricante bomba Booster P1121 B	42
Tabla 3.3 Características de fabricante bomba Booster P1121 C	44
Tabla 3.4 Características de fabricante bomba Booster P1121 D	45
Tabla 3.5 Consumo de potencia sin variador y con variador de la Bomba Booster P1121 B	53
Tabla 4.1 Tabla de responsabilidades	71

INTRODUCCIÓN

El día mundial de la eficiencia energética fue creado en 1998 en Austria, cuyo fin es buscar las mejores estrategias a aplicar frente a las crisis energéticas, el Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE), a través de la Subsecretaría de Cambio Climático, promueve e incentiva políticas para la promoción del uso racional de la energía en el Ecuador, esto dentro del marco de transformación de la matriz energética del país, que busca establecer un equilibrio entre el crecimiento económico y la conservación del ambiente.

El Bloque 16 operado por Repsol Ecuador, está ubicado en la parte central de la Cuenca Oriente Ecuatoriana dentro del Parque Nacional "Yasuní" y la reserva étnica "Huaorani". Geográficamente está localizado en la parte Nor-Oriental del territorio ecuatoriano dentro de la provincia de Orellana. Se encuentra localizado en la parte central de la Cuenca Oriente Ecuatoriana, aproximadamente a 215 km al Este de Quito. En el anexo 1 se muestra la localización geográfica del Bloque 16 Repsol.

El proceso de obtención de crudo dentro de las facilidades de producción se separa el hidrocarburo en gas, crudo y agua de formación, siendo esta última altamente contaminante por su composición físico – química, de tal manera que su dispersión en ríos o esteros causa la muerte de la flora y fauna, además que su nivel de producción aumenta paulatinamente, por consecuencia es necesario que el agua de formación sea re inyectada en pozos previo a esta acción se la debe someter a un determinado tratamiento.

La reinyección a los pozos se las realiza mediante un sistema de bombeo donde resaltan grupos de bombas centrífugas que hacen posible la evacuación de agua de formación desde los tanques almacenadores hasta los Wellpads donde se encuentran los pozos.

La finalidad de una bomba centrífuga es la de convertir energía de un primer elemento (motor eléctrico o turbina), primero en velocidad o energía cinética y luego en energía de presión de un fluido que está bombeándose.

Para conseguir este objetivo el documento se lo ha organizado en cuatro capítulos:

En el CAPÍTULO I, se establece una descripción amplia de la operación y funcionamiento de las bombas centrífugas de 1500 HP, el análisis y recopilación de información acerca factores que afectan la eficiencia.

En el CAPÍTULO II, se establece la metodología, modalidad, forma, tipo y nivel de investigación, el muestreo, los métodos y técnicas a ser empleadas, la operacionalización de las variables y el procedimiento de la investigación.

En el CAPÍTULO III, se analizan e interpretan los diferentes datos obtenidos sobre la eficiencia de las bombas centrífugas de 1500 HP.

Finalmente en el CAPÍTULO IV, se desarrolla la propuesta de un esquema de gestión continua de la eficiencia energética para optimizar la producción, orientada al mantenimiento donde los departamentos de Mecánica predictiva, Eléctrica e Instrumentación desarrollaran actividades que conduzcan a la optimización.

También se incluirán Operadores de Producción quienes estarán encargados de crear Center Line de máquinas para la optimización del proceso productivo.

SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En la actualidad el Bloque 16 de Repsol cuenta con una alta demanda de energía eléctrica que bordea los 98 MW de potencia diaria y cuyo parque está conformado actualmente por 6 Plantas termoeléctricas, con una potencia instalada de 153 MW y potencia efectiva de 118 MW. Como se puede apreciar en el Anexo 2. Esto se debe a una producción de agua de formación que bordea los 900.000 barriles diarios y por ende es necesario tener un sistema de bombeo óptimo. (Datos Sistema de Gestión Integrado Repsol 2013).

La gran cantidad de agua que se maneja en el campo es un problema ya que 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 y transporte del crudo, esto hace que se tenga equipos generadores eléctricos en óptimas condiciones para cubrir demanda diaria pero también implica que la operación en condiciones adversas para las máquinas ocasiona que las emisiones de gases a la atmósfera se incrementen con lo cual los índices de contaminación bordean los límites establecidos en las normas del Estado.

En tal virtud se plantea realizar un diagnóstico energético a las bombas centrífugas de 1500HP del Bloque 16 de Repsol, año 2013 y elaborar una propuesta de un esquema de gestión continua de la eficiencia energética para optimizar la producción.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La eficiencia energética se puede definir como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir nuestro confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso (Fuente tomada de www.Tenergy.com).

Considerando el Decreto N°.- 1048 donde se crea “El instituto nacional de eficiencia energética y energías renovables, como entidad adscrita al ministerio de electricidad y energía renovable”); que el artículo 387, número 2 de la Constitución de la República del Ecuador (ver Anexo 3), establece que es responsabilidad del Estado promover la generación y producción de conocimiento, fomentar la investigación científica y tecnológica para así contribuir a la realización del buen vivir, al “SumakKawsay”; que por disposición de los artículos 15 y 413 de la Constitución de la República del Ecuador es responsabilidad del Estado promover la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas tecnológicas, diversificadas, no contaminantes, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua;

Que el Plan Nacional del Buen Vivir 2009 - 2013, publicado en el Suplemento del Registro Oficial 144 de 5 de marzo del 2010, en su Política 4.3 dispone diversificar la matriz energética nacional, promoviendo la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles.

Esto nos obliga a mantener una constante actualización y búsqueda de nuevas tecnologías que contribuyan al medioambiente y así generar energías limpias.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De no contar con un Programa de Gestión Energética se mantendrá el problema de alto consumo de energía y baja producción de crudo en el Bloque 16 de Repsol?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el consumo energético de las bombas de 1500 HP del Bloque 16 de Repsol mediante un diagnóstico energético, que permita optimizar la producción.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los parámetros de operación eléctricos de las bombas centrífugas de 1500 Hp.
- Identificar los potenciales de ahorro de energía sobre las mediciones realizadas.
- Elaborar un plan de medidas que asegure un sostenido control de parámetros y el funcionamiento de las bombas centrífugas de 1500 HP con la mayor eficiencia posible.

HIPÓTESIS

¿La determinación de los parámetros de operación y el consumo de energía en las bombas centrífugas de 1500HP de Repsol, permitirá diseñar un esquema de gestión continua que garantice la optimización de la producción?

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

En el presente capítulo se evalúa el marco teórico, los antecedentes investigativos opiniones y explicaciones de la problemática planteada en la presente investigación; así como la contextualización y fundamentos respectivos en los cuales se especifican las orientaciones técnicas correspondientes.

1.1 Antecedentes de la investigación

La primera bomba construida por el hombre fue la jeringa y se debe a los antiguos egipcios, quienes la utilizaron para embalsamar las momias Ctesibius, en el siglo II A.C., la convirtió en una bomba de doble efecto. Con el pasar del tiempo estas bombas fueron perfeccionando en base a los estudios realizados en pequeños ensayos prácticos.

Actualmente las bombas centrífugas constituyen no menos del 80% de la producción mundial de bombas, porque son las más adecuadas para manejar una cantidad mayor de líquido que las bombas de desplazamiento positivo. En nuestro país, prácticamente todas las industrias poseen al menos una bomba centrífuga.

El análisis preliminar de datos de consumo, costos de energía y de producción permitirán adoptar una serie de medidas para mejorar el entendimiento de los factores que contribuyen a la variación de los índices energéticos de la planta y realizar un adecuado balance energético específico de los equipos y líneas de producción intensivas en consumo de energía para su cuantificación.

El análisis de la eficiencia energética de las bombas centrífugas es tema de investigación ya que en los últimos años ha tomado gran importancia a nivel mundial considerando que las fuentes energéticas a las cuales dependemos se están deteriorando por tal motivo se hace exhaustiva la búsqueda de nuevos métodos que garanticen una eficiencia de procesos productivos.

En Repsol no existen proyectos relacionados al estudio de la eficiencia en bombas centrífugas de 1500 HP siendo esta una razón primordial para buscar el ahorro energético, y mejorar el proceso productivo.

1.2 Contexto energético ecuatoriano

La matriz energética se refiere a una representación cuantitativa de toda la energía disponible, en un determinado territorio, región, país o continente para ser utilizada en los diversos procesos productivos.

1.3 Procesos en el Bloque 16 Repsol

1.3.1 El proceso productivo Bloque 16 Repsol

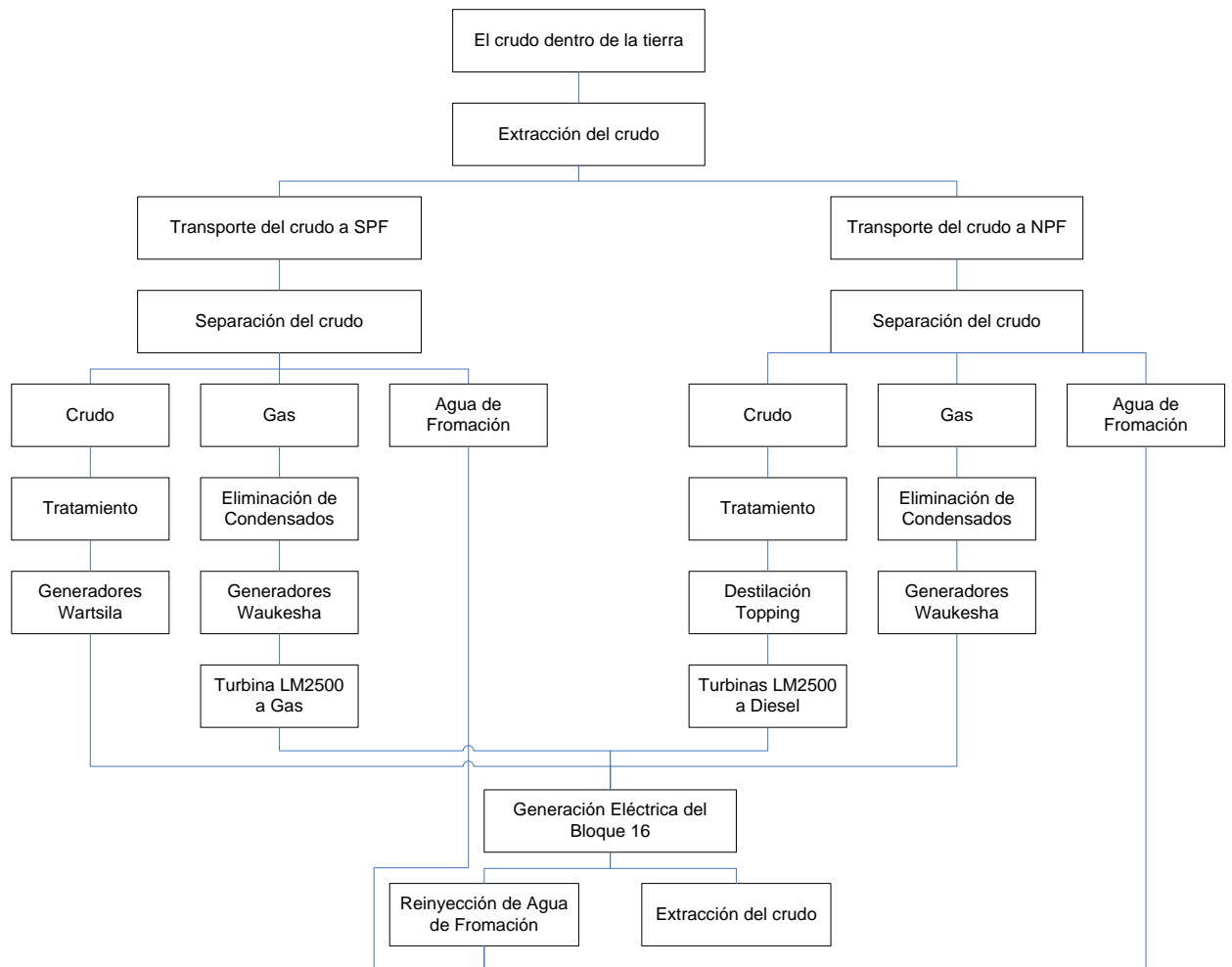
La extracción del crudo desde la tierra es obtenida en su estado natural, el cual es transportado hacia las áreas de procesamiento tanto en los campos de NPF como el de SPF en donde se le da el tratamiento adecuado y se produce la separación de sus distintos componentes crudo, gas y agua en forma separada.

En la figura N° 1.1 se puede apreciar el sistemático productivo del Bloque 16 correspondiente a Repsol.

Se detalla inicialmente el crudo proviene de la madre tierra, donde pasa a través de todo un proceso industrial de extracción de crudo, es transportado al SPF y hacia el NPF los dos bloques que se encargan de extraer, procesar y transportar el crudo hacia Shushufindi, pero antes del transporte se tiene que realizar un proceso de separación de crudo donde se obtiene netamente el crudo, gas y agua de formación.

El crudo es tratado y enviado a consumo de generación Wartsila, el gas de igual manera es procesado eliminando condensados se envía a los generadores Waukesha y Turbinas de generación LM2500, mientras que el agua de formación es almacenada y nuevamente reinyectada a la madre tierra a través de pozos.

Figura 1.1 Proceso productivo Bloque 16



Fuente: **El Autor**

1.3.2 Proceso de Generación eléctrica Bloque 16 Repsol

Para la generación eléctrica en Repsol se cuenta con 3 turbinas LM2500 de las cuales 2 son a diésel y una es dual (diésel y gas), 7 generadores Wartsila que trabajan con crudo y 21 unidades a gas marca Waukesha. Los combustibles usados son provistos del proceso de extracción del crudo en los diferentes WellPads. En SPF un porcentaje del crudo obtenido es empleado en la generación eléctrica mediante las 7 unidades Wartsila., por otra parte tanto en NPF como en SPF el gas obtenido del proceso de separación del crudo es tratado a fin de eliminar la mayor parte de condensado y otras partículas que se adhieren en él

para ser utilizado en la generación mediante los motores de combustión interna con unidades Waukesha, de esta manera se contribuye al cuidado del medio ambiente ya que se trata de no quemar este gas natural sino se lo emplea en la obtención de energía eléctrica.

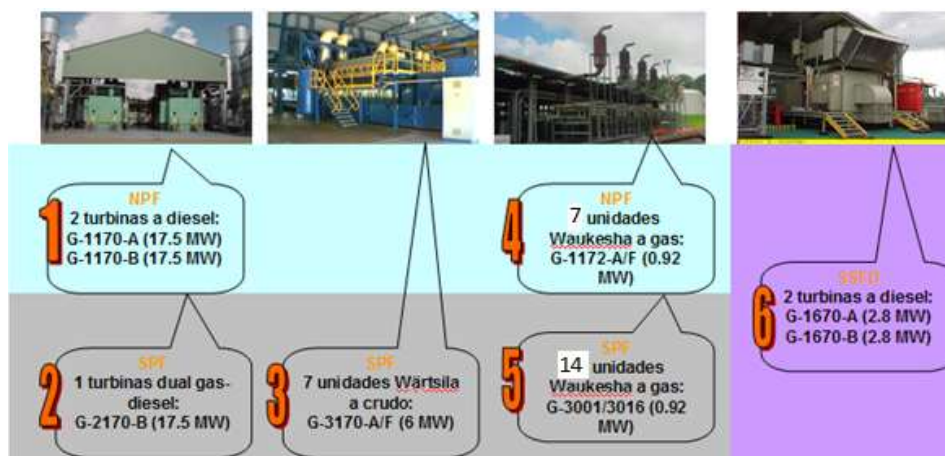
Un punto importante que se debe señalar es que en SPF gran parte de este gas natural es empleado también en la generación eléctrica utilizando una turbina LM2500 de GE ya que es dual y alrededor del 95% del tiempo de trabajo emplea como combustible el gas.(Datos Tomados del Sistema de Gestión Integrado Repsol 2013).

Finalmente en NPF se trabaja con 2 turbinas LM2500 de GE con combustible diésel. Para la obtención del diésel se dispone de una Planta de Destilación, en la figura 1.2 se puede apreciar los distintos generadores que abastecen de energía al Bloque 16 de Repsol.

Toda esta energía es utilizada parte en la producción de crudo pesado utilizando bombas electros sumergibles y otra parte se la emplea en bombas de inyección de agua, estos equipos se encuentran en SPF y NPF, debido a ello el alto consumo en estos campos.

Además cada Wellpad posee equipos auxiliares como compresores de aire, bombas de agua, sistemas de iluminación, sistemas de aire acondicionado, bombas de inyección de químico, etc.

Figura 1.2 Proceso Generación Bloque 16

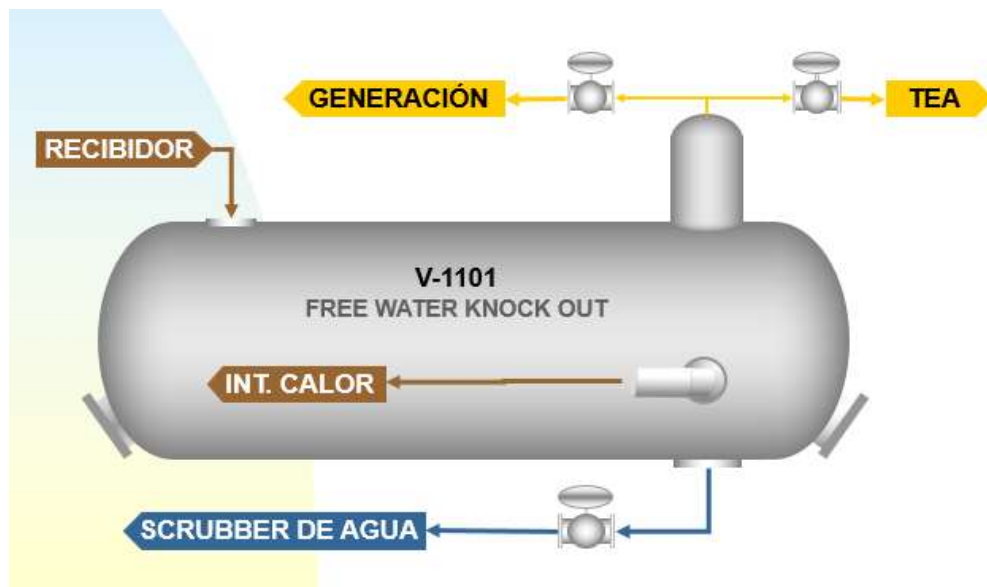


Fuente: Sistema Gestión Integrado Repsol

1.4 Proceso de Separación

El proceso de separación del crudo proveniente de los wellpads BOGI, CAPIRÓN, TIVACUNO AB y TIVACUNO C, a un cabezal común que distribuye el crudo en dos trenes de deshidratación que posee la planta, seguidamente, el crudo ingresa al FWKO (Free wáter knockout) en donde se producirá una separación trifásica (gas, agua y crudo). En la figura 1.3 se muestra la función del FWKO.

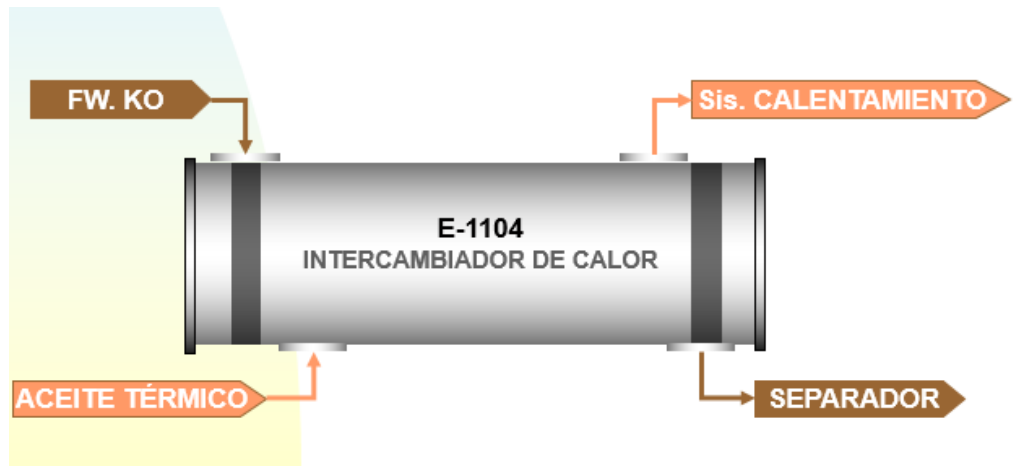
Figura 1.3 Funcionamiento FWKO



Fuente: Sistema Gestión Integrado Repsol

Se obtiene como resultado de esta separación; un crudo con un BSW de alrededor del 8%, (dato tomado de SGI, Sistema Gestión Integrado Repsol 2013). Posteriormente, el crudo ingresa a un intercambiador de calor en donde se incrementará su temperatura, disminuyendo así su viscosidad, lo cual favorecerá una mayor separación del agua residual en el separador de producción, en la figura 1.4 se observa al intercambiador de calor.

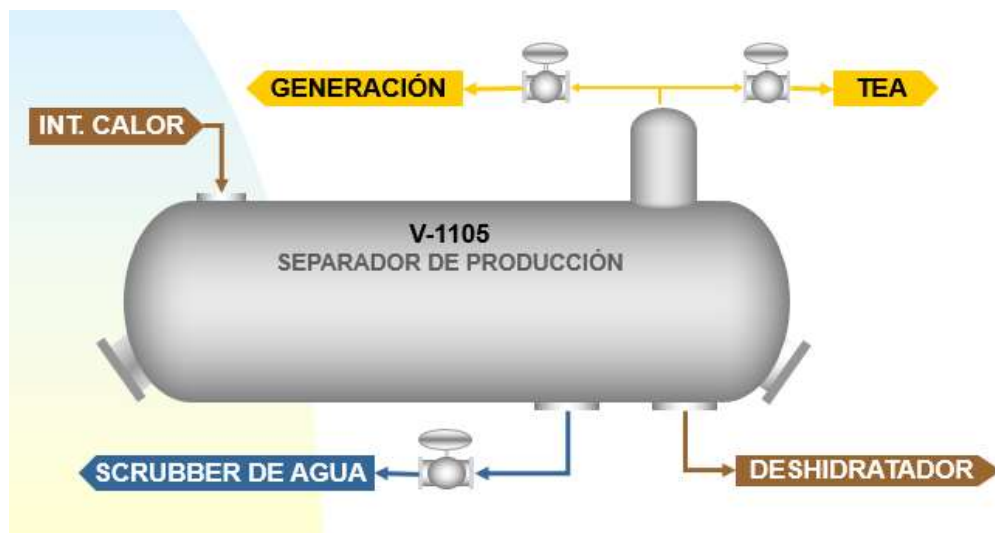
Figura 1.4 Funcionamiento Intercambiador de Calor



Fuente: Sistema Gestión Integrado Repsol

Seguidamente ingresa al separador de producción donde igualmente se separan tres fases (gas, agua y crudo) obteniéndose a la salida un crudo con un corte de agua de alrededor del 6% (dato tomado de SGI, Sistema Gestión Integrado Repsol 2013). Como se muestra la figura 1.5 donde se observa el Separador de Producción.

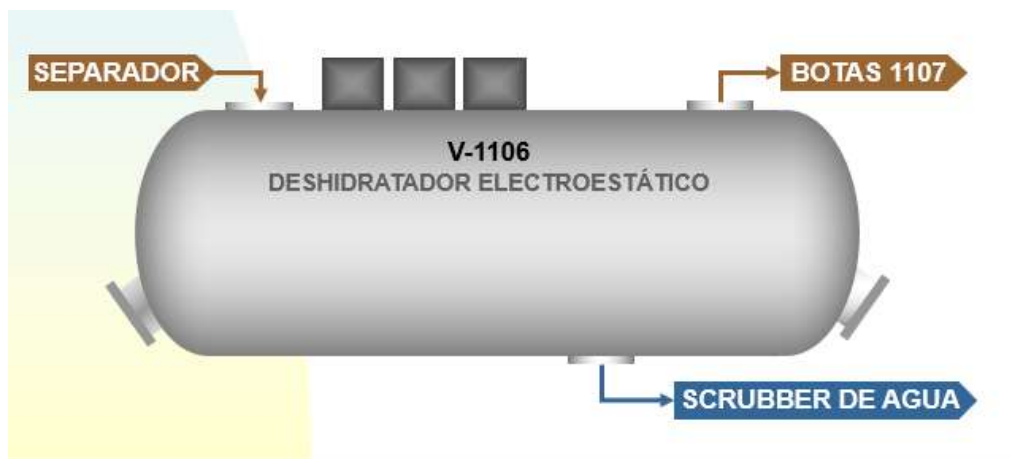
Figura 1.5 Funcionamiento Intercambiador de Calor



Fuente: Sistema Gestión Integrado Repsol

A continuación, el crudo separado se dirige a un deshidratador donde se produce una separación bifásica (agua y crudo) que está sometido a un campo electromagnético el cual afectará en la polaridad de las moléculas de agua y hará que estas se junten y decanten, logrando así la separación del crudo, obteniéndose un BSW menor al 1% (SGI, Sistema Gestión Integrado Repsol 2013). Como se observa en la figura 1.6 donde se observa el Deshidratador Electroestático.

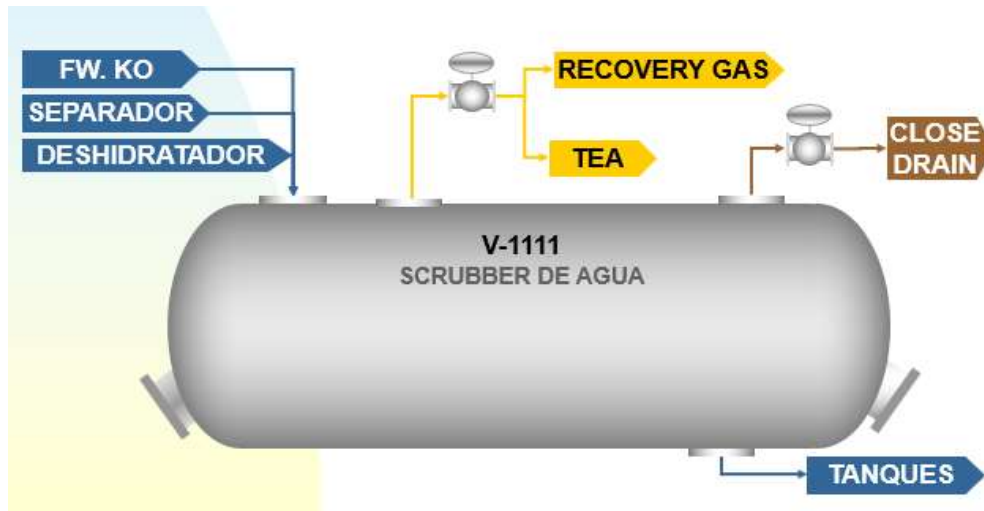
Figura 1.6 Funcionamiento Intercambiador de Calor



Fuente: Sistema Gestión Integrado Repsol

El agua proveniente de los FWKO, separadores de producción, deshidratadores electrostáticos y es dirigida hacia los Scrubbers donde también se producirá una separación trifásica (agua, crudo y gas). Como se puede observar en la figura 1.7 se presenta el Scrubber de Agua.

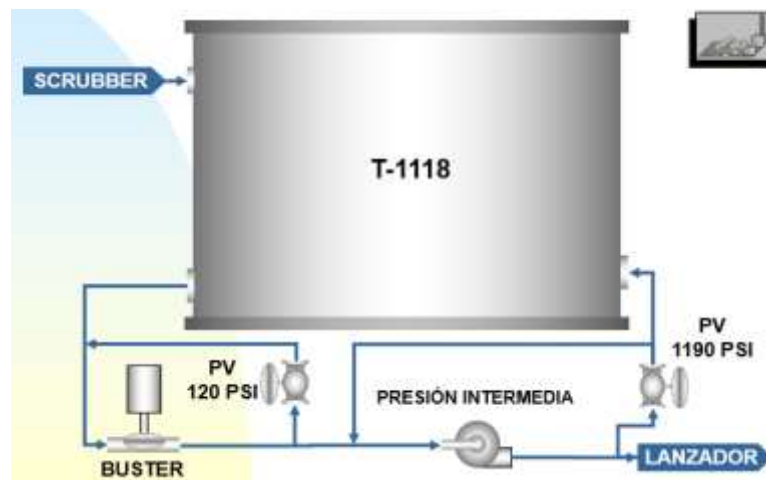
Figura 1.7 Funcionamiento Intercambiador de Calor



Fuente: Sistema Gestión Integrado Repsol

El agua tratada se dirige hacia los cuatro tanques de almacenamiento donde será distribuida según las condiciones de operación, como se muestra en la figura 1.8 se aprecia el proceso de almacenamiento de Agua.

Figura 1.8 Funcionamiento Intercambiador de Calor



Fuente: Sistema Gestión Integrado Repsol

Las trazas de crudo separadas se dirigirán al vessel de drenaje cerrado; el agua de formación resultante será inyectada en cada locación, para lo cual, bombas booster a la salida de los tanques servirán de alimentación a las bombas intermedias que son las encargadas de direccionar el agua de formación a cada locación en donde tenemos equipos de inyección de alta presión.

1.5 Fundamentación teórica científica

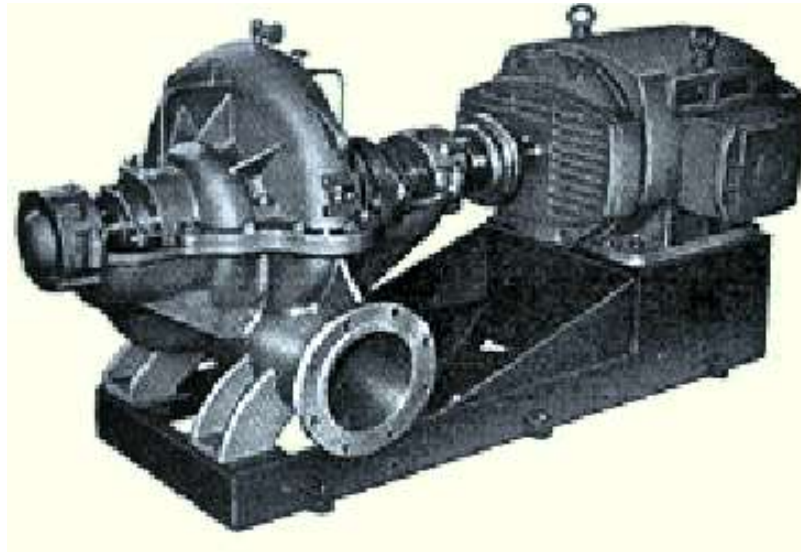
1.5.1 Concepto de bomba

Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión. Están compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para posteriormente convertirse en energía hidráulica. El fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales de éste y suministrándosele energía cinética mediante los álabes que se encuentran en el impulsor para posteriormente descargar el fluido en la voluta, el cual se expande gradualmente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión.

1.5.2 Concepto de bomba Centrífuga

Una bomba centrífuga es una máquina que consiste de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o cárter, o una cubierta o coraza. Se denominan así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza de esta misma acción. Así, despojada de todos los refinamientos, una bomba centrífuga tiene dos partes principales: (1) Un elemento giratorio, incluyendo un impulsor y una flecha, y (2) un elemento estacionario, compuesto por una cubierta, estoperas y chumaceras. En la figura 1.9 se muestra una bomba centrífuga.

Figura 1.9 Bomba Centrífuga

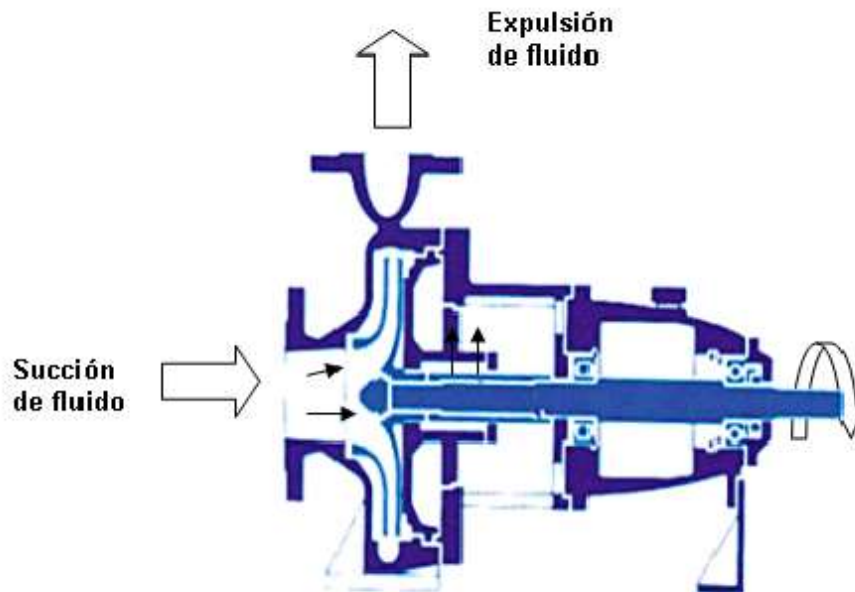


Fuente: Historia Bombas centrífugas

1.5.3 Funcionamiento de bomba Centrífuga

El flujo entra a la bomba a través del centro ojo del rodete y el fluido gana energía a medida que las paletas del rodete lo transportan hacia fuera en dirección radial. Esta aceleración produce un apreciable aumento de energía de presión y cinética, lo cual es debido a la forma de caracol de la voluta para generar un incremento gradual en el área de flujo de tal manera que la energía cinética a la salida del rodete se convierte en cabeza de presión a la salida, en la figura 1.10 se puede apreciar el funcionamiento gráfico de la bomba.

Figura 1.10 Funcionamiento Bomba



Fuente: Bombas centrífugas monografías

1.5.4 Partes de una bomba centrífuga

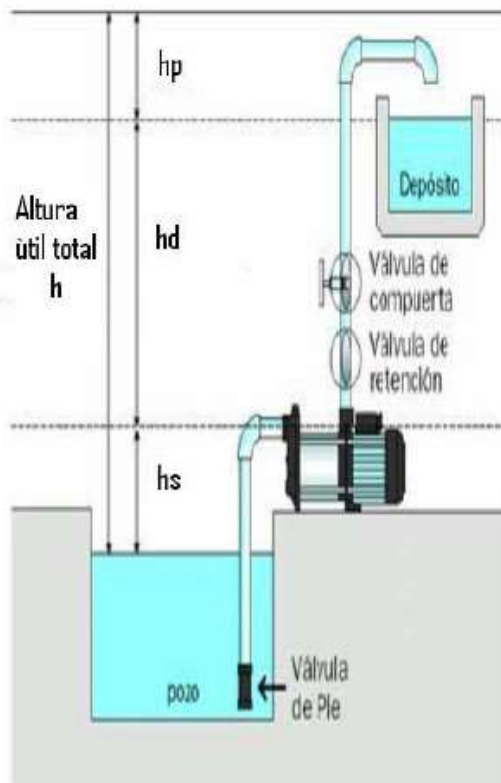
- **Carcasa.** Es la parte exterior protectora de la bomba y cumple la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.
- **Impulsores.** Es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.
- **Anillos de desgaste.** Cumplen la función de ser un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde debido a las cerradas holguras entre el impulsor y la carcasa, el desgaste es casi seguro, evitando así la necesidad de cambiar estos elementos y quitar solo los anillos.
- **Estoperas, empaques y sellos.** la función de estos elementos es evitar el flujo hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.

- **Flecha.** Es el eje de todos los elementos que giran en la bomba centrífuga, transmitiendo además el movimiento que imparte la flecha del motor.
- **Cojinetes.** Sirven de soporte a la flecha de todo el rotor en un alineamiento correcto en relación con las partes estacionarias. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.
- **Bases.** Sirven de soporte a la bomba, sosteniendo el peso de toda ella.

1.5.5 Altura efectiva de bombeo

Una bomba debe vencer la resistencia de un sistema de bombeo para que el líquido pueda fluir completamente a través del mismo, la resistencia al flujo del fluido es conocido como Altura efectiva de bombeo, en la figura 1.11 se muestra gráficamente la altura efectiva de las bombas.

Figura 1.11 Altura efectiva en bombas



Fuente: Parámetros efectivos de bombas

Donde:

h : Es la columna o altura útil, total que debe vencer una bomba. [m]

h_s : Altura estática de succión. [m]

h_d : Altura estática de descarga. [m]

h_p : Altura de pérdidas. [m] : Es la columna o altura útil, total que debe vencer una bomba. [m]

h_s : Altura estática de succión. [m]

h_d : Altura estática de descarga. [m]

h_p : Altura de pérdidas. [m]

1.5.6 Altura neta de succión positiva disponible (NPSH)

Para que una bomba opere debe tener presión a la succión de manera que el líquido sea acelerado al interior del ojo del impulsor. Todas las bombas requieren una altura neta de succión positiva. El (N.P.S.H) es la presión requerida sobre la presión de vapor del fluido a bombearse para que el sistema trabaje correctamente sin presencia del fenómeno de cavitación, problema frecuente en el transporte de fluidos por bombas.

El valor de la *NPSHA* depende de la presión de vapor del fluido que se bombea, las pérdidas de energía en el tubo de succión, la ubicación de almacenamiento del fluido y la presión que se aplica a este, esto se expresa en la ecuación 1.1.

Ecuación (1.1) Carga de succión neta positiva disponible.

$$NPSHA = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

Fuente: (Mecánica de fluidos de STREETER V.)

Donde:

h_{sp} : Carga de presión estática (absoluta) sobre el fluido en el almacenamiento y se expresa en m de líquido.

$$h_{sp} = P_{sp} / [\rho g]$$

P_s : Presión estática (absoluta) sobre el fluido en el depósito. [N/m^2]

h_s : Diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito a la línea central de la entrada de la succión de la bomba. [m]. Si la bomba está abajo del depósito, h_s es positiva.

1.5.7 Altura neta de succión positiva disponible requerida (NPSH)

Los fabricantes de bombas prueban cada diseño para determinar el nivel de la presión de succión que se requiere y reportan los resultados como la carga de succión positiva neta requerida (*NPSHR*), de la bomba en cada condición de capacidad de operación (flujo volumétrico) y carga total sobre la bomba.

La carga de succión neta positiva disponible (*NPSHA*), sea mayor que la requerida.

1.5.8 Bomba Centrífuga mono etapa

Una bomba es una máquina hidráulica generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve. El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos como puede ser el hormigón antes de fraguar o la pasta de papel.

Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli. En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

Se las llama también Roto dinámicas, son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por el contorno su forma lo conduce hacia las tabuladoras de salida o hacia el siguiente rodete y su elemento

transmisor de energía se denomina impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas y es este elemento el que comunica energía al fluido en forma de energía cinética. En la figura 1.12 se observa una bomba centrífuga.

Figura 1.12 Bomba centrífuga mono etapa



Fuente: WWW.Sulzer.com

1.5.9 Bombas centrífugas multi-etapas

Las bombas multi-etapas son aquellas que tienen más de un rodete y cada etapa representa un rodete y una carcasa. Las etapas son conectadas en serie de manera que la descarga de una etapa entra en la sección de la siguiente etapa y la descarga de esta entra a la succión de la siguiente, en cada etapa se incrementa una cantidad de energía siendo la energía total la sumatoria de los incrementos de las energías de todas las etapas, en la figura 1.13 se observa una bomba multi-etapas.

Una bomba multi-etapas Sulzer (bombas de baja presión, bombas de transferencia y bombas de alta presión) es ampliamente usada en refinerías, plantas petroquímicas, estaciones de bombeo en oleoductos, en estaciones de bombeo en los campos orientales, etc.

El comportamiento funcional de las bombas SULZER puede ser afectada por cambios de la gravedad específica de la materia bombeada, de viscosidad, de velocidad funcional de la bomba y el NPSH (Altura neta positiva de aspiración).

En bombas SULZER, utilizadas para inyectar agua de formación y bombear petróleo, los sellos mecánicos están sujetos a condiciones operativas extremas, altas temperaturas y altas presión.

Figura 1.13 Bomba multietapasSulzer1



Fuente: Bomba P-1079F, Bloque 16 Repsol

1.5.10 Curvas características de bombas centrífugas

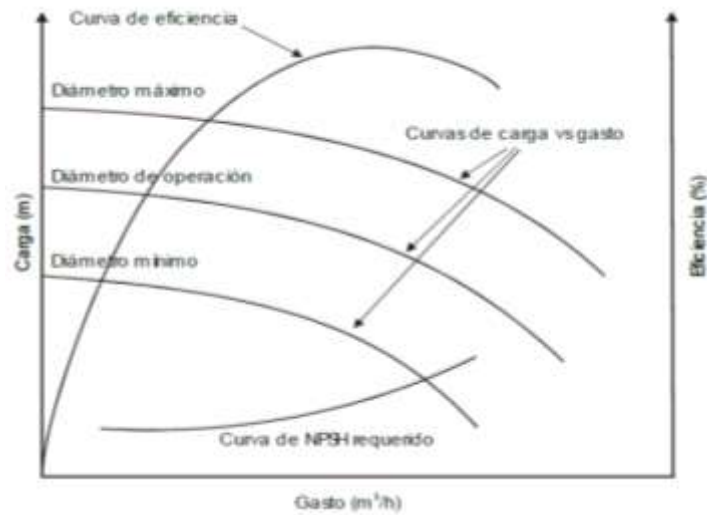
Teniendo la información de los datos de placa de la bomba, se deben consultar los catálogos o información técnica del fabricante para obtener las curvas características de la bomba centrífuga; dichas curvas son aquellas que relacionan las variables que intervienen en el funcionamiento de la misma. Las curvas características de las bombas presentan datos similares independientemente del fabricante y en general incluyen:

- La curva de carga vs caudal.
- La curva de NPSH vs caudal.
- La curva de eficiencia vs caudal.
- La curva de potencia vs caudal.

En caso de no contar con la información técnica del fabricante de la bomba que se desea evaluar, se podrán utilizar curvas de referencia que contengan características similares de la bomba, es decir: diámetro y tipo de impulsor,

velocidad, tamaño, etc. En la figura 1.14 se observa la curva característica de la bomba centrífuga.

Figura 1.14 Curvas características Bombas



Fuente: Curvas características Bombas Centrífugas

Determinación alternativa de la Eficiencia. En caso de no contar con las curvas características de la bomba, se puede determinar la eficiencia de la bomba mediante el siguiente procedimiento. Primero determine la potencia entregada en la flecha de la bomba (potencia absorbida), mediante la ecuación:

$$\text{BHP} = \text{Potencia medida en el motor} \times \eta_{\text{motor}} \text{ (HP o kW)}$$

Enseguida establezca la potencia hidráulica de la bomba mediante la siguiente expresión.

$$\text{Potencia hidráulica} = QH\rho g / 1000 \text{ (kW)}$$

Donde:

Q = gasto (m³ /s),

H = carga total (m),

ρ = densidad del fluido (kg/m³),

g = aceleración de la gravedad (m/s²).

La eficiencia de una Bomba queda definida como:

$$\eta_{\text{Bomba}} = \frac{QH g \rho}{(\text{BHP})} = \frac{\text{Potencia hidráulica}}{\text{Potencia absorbida por la bomba.}}$$

Cálculo del consumo de energía y costos de operación.

Potencia demandada (kW) = Potencia del motor de la Bomba.

Consumo de energía kWh = kW que demanda x horas de operación.

1.5.11 Motores eléctricos

Los motores de inducción son máquinas de corriente alterna en las que la velocidad del rotor es menor que la del campo magnético y dependen de la carga además tiene la propiedad de ser reversible, es decir, puede funcionar como motores y como generador.

Poseen un buen par de arranque, y como su velocidad depende de la frecuencia que se le aplica, la única forma de regular la velocidad de giro consiste en alimentarlos a través de variadores electrónicos de frecuencia.

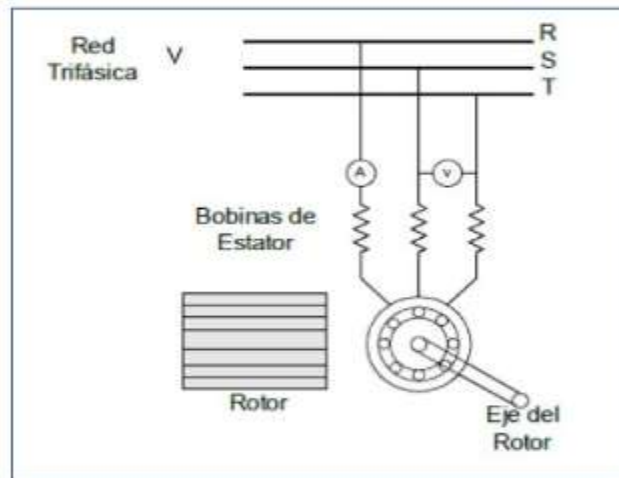
1.5.12 Partes de un motor de inducción.

Este motor tiene dos partes principales: estator y rotor.

1. El estator es la parte fija de la máquina en cuyo interior hay ranuras donde se coloca el devanado trifásico que se alimenta con corriente alterna trifásica. La parte giratoria de la máquina se llama rotor y en sus ranuras también se coloca un devanado.
2. El estator y el rotor se arman de chapas estampadas de acero electrotécnico

En la figura 1.15 se muestra conexión típica de motor.

Figura 1.15 Conexión típica de motor 1



Fuente: Máquinas eléctricas

El devanado del rotor también es trifásico (o polifásico) y se coloca en la superficie del cilindro. En el caso simple se une en corto circuito. Cuando el devanado del estator es alimentado por una corriente trifásica, se induce un campo magnético giratorio, cuya velocidad (síncrona) es:

$$n_s = \frac{60 * f}{n_p}$$

Dónde:

n_p = Número de pares de polos.

n_s = velocidad del campo giratorio. [rpm]

f = frecuencia de la red. [Hz]

1.5.13 Potencia del motor eléctrico de inducción.

Cuando el motor está en funcionamiento, el estator se alimenta de la red y absorbe una potencia y se la representa de la siguiente forma.

$$P_{em} = \sqrt{3} * V * I * \cos\phi$$

Dónde:

P_{em} = potencia de entrada del motor eléctrico, [kW]

V = voltaje que consume el motor eléctrico, [V]

I = corriente que consume el motor eléctrico, [A]

$\cos\phi$ = factor de potencia.

1.5.14 Rendimiento de motor.

Parte de la potencia P_1 se consume (disipa) en la resistencia R del devanado del Estator ocasionando una pérdida eléctrica ΔP_{el1} , así como una pérdida magnética en el campo del estator ΔP_{mag} , deduciendo dichas componentes, al rotor se le aplica una potencia electromagnética, que se expresa mediante la siguiente ecuación de balance energético:

$$\Delta P_{elmag_1} = P_1 - \Delta P_{el1} - \Delta P_{mag} \text{ KW}$$

Parte de esta potencia se disipa en cubrir las pérdidas eléctricas del rotor ΔP_{el2} su devanado, la potencia resultante es aquella que va a ser convertida en potencia mecánica, expresado por:

$$P_{mec} = P_{elmag} - \Delta P_{el2}$$

En las máquinas de anillos rasantes, además se tienen pérdidas en las escobillas de contacto, las cuales se añaden a la pérdida ΔP_{el2} .

La potencia mecánica obtenida en el árbol del eje del rotor, se obtiene luego de vencer su inercia y otras pérdidas adicionales, obteniéndose una potencia $P_2 = P_{sm}$

Se puede también apreciar en el Anexo 4, las normas de eficiencia de motores.

1.5.15 Diagnóstico energético.

El objetivo de un diagnóstico energético es determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía. Consiste en el análisis y estudio de todas las formas

y fuentes de energía que utiliza un inmueble. Este análisis se hace de manera crítica en la instalación consumidora de energía, para así, establecer el punto de partida para la implementación y control de un Programa de Ahorro de Energía.

El estudio determina dónde y cómo es utilizada la misma, además de especificar cuanta es desperdiciada así como los sistemas y programas a realizar para elevar la eficiencia del uso de energía del inmueble.

El diagnóstico nos dará la información apropiada para establecer los planes y procedimientos adecuados para lograr las metas de ahorro y eficiencia. Las empresas que deseen ser competitivas en este mundo globalizado deberán establecer programas de ahorro y eficiencia de energía.

Nuestro enfoque es saber y entender en donde se utiliza la energía eléctrica de una empresa y proponer las medidas necesarias para ahorrar y hacer un uso eficiente y seguro de la energía eléctrica.

El objetivo final es la identificación de medidas técnicas y administrativas que sean rentables para el ahorro de energía eléctrica en toda la empresa.

1.5.16 Norma ISO 50001

La conformidad con la norma de gestión de la energía ISO 50001 le permite mejorar la eficiencia energética, reducir costos y que ambos cumplan y superen las expectativas del cliente.

Los sistemas eficaces de gestión de la energía (EMS) ayudan a su empresa a establecer procesos para mejorar la eficiencia energética. La aplicación debería reducir sus costes de energía, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y otros impactos ambientales. La norma ISO 50001 establece un marco internacional para el suministro, uso y consumo de energía en organizaciones industriales, comerciales e institucionales.

La aplicación de la norma ISO 50001 permite la conformidad con el sistema de gestión de energía sostenible y demuestra que su empresa ha completado una línea

base de consumo de energía, y se compromete con la mejora continua de la intensidad energética.

1.5.17 Definición de términos

Los siguientes conceptos son básicos para correcta comprensión del presente trabajo:

- **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.
- **Crudo:** Líquido natural, oleaginoso e inflamable, de color oscuro y olor característico, más ligero que el agua, formado por una mezcla de hidrocarburos. Se obtienen de él distintos productos utilizables con fines energéticos o industriales (gasolina, nafta, queroseno, gasóleo).
- **Eficiencia Energética:** La 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.
- **Extracción del crudo:** Mediante pozos petrolíferos y con la ayuda de bombas y como resultado de la presión a la que se someten salen a la superficie. También se realiza con ayuda de collares de seguridad que son dispositivos circulares con asiento cónico que, en los pozos petrolíferos, facilitan el anclaje de los tubos de perforación y al mismo tiempo impiden su deslizamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Este capítulo está dedicado a la metodología para realizar la investigación, el enfoque metodológico, la modalidad, el tipo de investigación, el nivel y las técnicas e instrumentos a utilizar.

2.1 Modalidad de la investigación

Con el fin de mejorar la eficiencia energética en los sistemas de bombeo que utilizan bombas centrífugas y promover, al mismo tiempo, el uso racional de la energía eléctrica se cree conveniente elaborar la siguiente metodología:

Esta metodología se diseña especialmente para el personal encargado de ingeniería, operación, supervisión y mantenimiento de los distintos procesos y equipos que incorporan en su operación bombas centrífugas horizontales.

La metodología de evaluación energética de bombas centrífugas de 1500 HP están formadas por las siguientes secciones:

- **Método de análisis.-** Este método será utilizado en la revisión de cierta información existente en el bloque 16 de Repsol Ecuador referente al tema así como la recopilación de información y mediciones.
- **Método de síntesis.-** Se utilizará este método principalmente en la estructuración del informe final y en la propuesta.
- **Método Inductivo.-** Se analizará las experiencias adquiridas en las áreas de Energía y Producción para afianzar los conocimientos adquiridos en el proceso de estudio de la Maestría.
- **Método Deductivo.-** Se partirá de los conocimientos generales, mecánica, eléctrica y datos actualizados para llegar finalmente a elaborar un plan de medidas de ahorro energético.
- **Método de Observación Científica.-** Este método se utilizará durante toda la investigación, especialmente durante el trabajo coordinado con las áreas de

mayor interacción, Energía - Producción así como también el apoyo técnico.

2.1.1 Tipo de investigación.

Una vez definido el modelo de la investigación y de acuerdo a los interrogantes de la misma, y en función de sus objetivos, se incorporó el tipo de investigación documental la información requerida para abordar los temas planteados se encuentran en documentos impresos y electrónicos, el cual se justifica por el uso de materiales impresos provenientes de la base de datos de Bloque 16 de Repsol Ecuador.

2.2 Diseño de la investigación

La investigación se la desarrolla como se muestra en la Figura 2.1, y se inicia con una fase de observación. Es la más adecuada para este tipo de estudio puesto que nos ayuda a establecer de manera más detallada la situación de trabajo de las bombas centrífugas de 1500HP y nos brinda mayor cantidad de herramientas que nos permiten proyectar aspectos muy importantes a la hora de realizar la investigación.

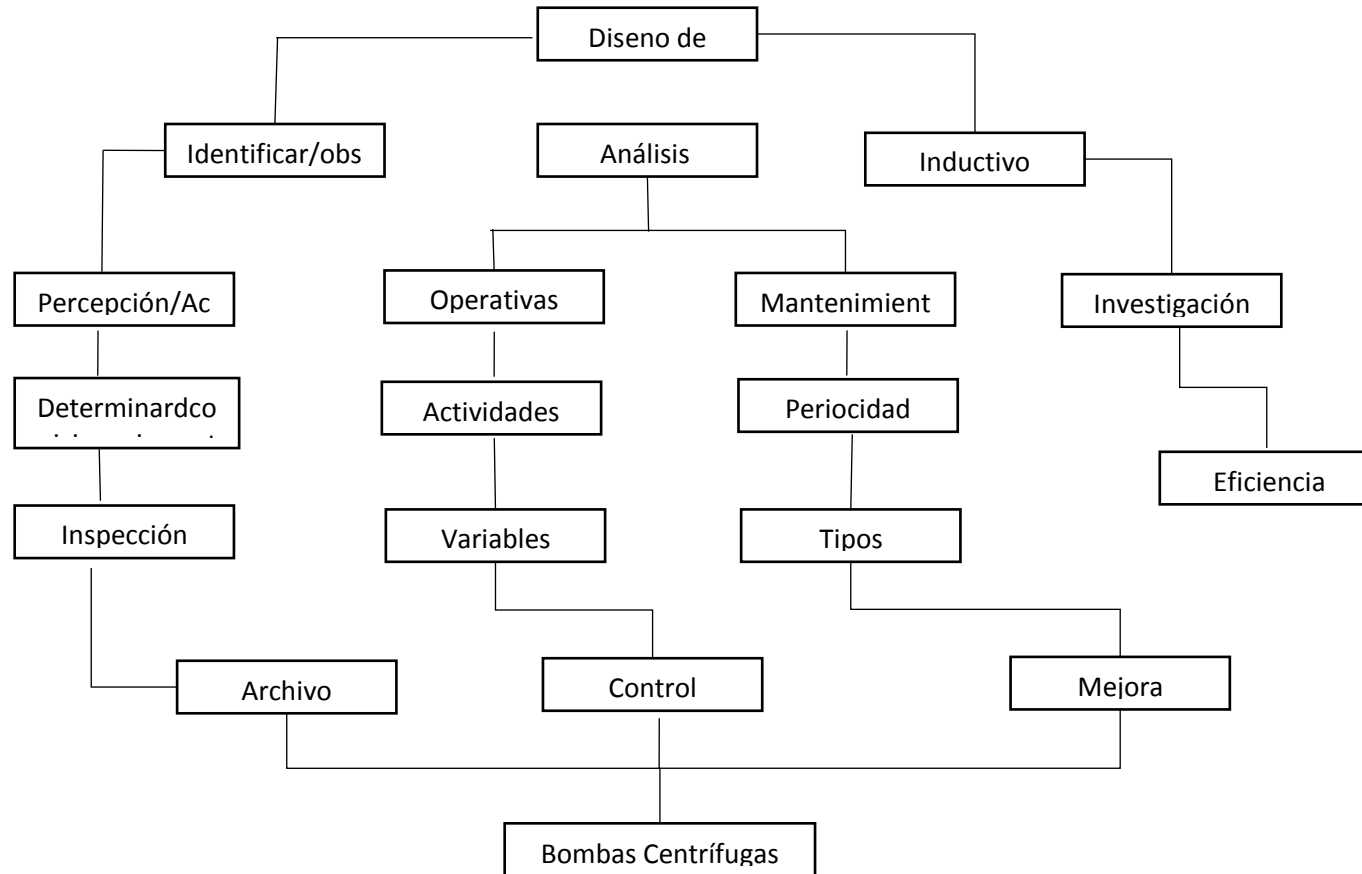
Este estudio recolectará información referente a la operación y mantenimiento de las bombas centrífugas, construirá un perfil que reflejará fielmente el estado en el cual se desarrollan las actividades normalmente.

Por medio de investigaciones previas, se identificarán y se incorporarán, dentro de la estructura de la investigación, asuntos claves y conceptos relacionados a la eficiencia de bombas centrífugas.

Con los borradores de los instrumentos de investigación se determinará el estado actual operativo de las bombas centrífugas.

Finalmente con los datos recolectados en las distintas fases de la investigación se pretende establecer un esquema de gestión continua cuyo fin optimice la producción del Bloque 16 de Repsol.

Figura 2. 1 Diseño de la Investigación



Fuente: El Autor

2.3 Población y muestra

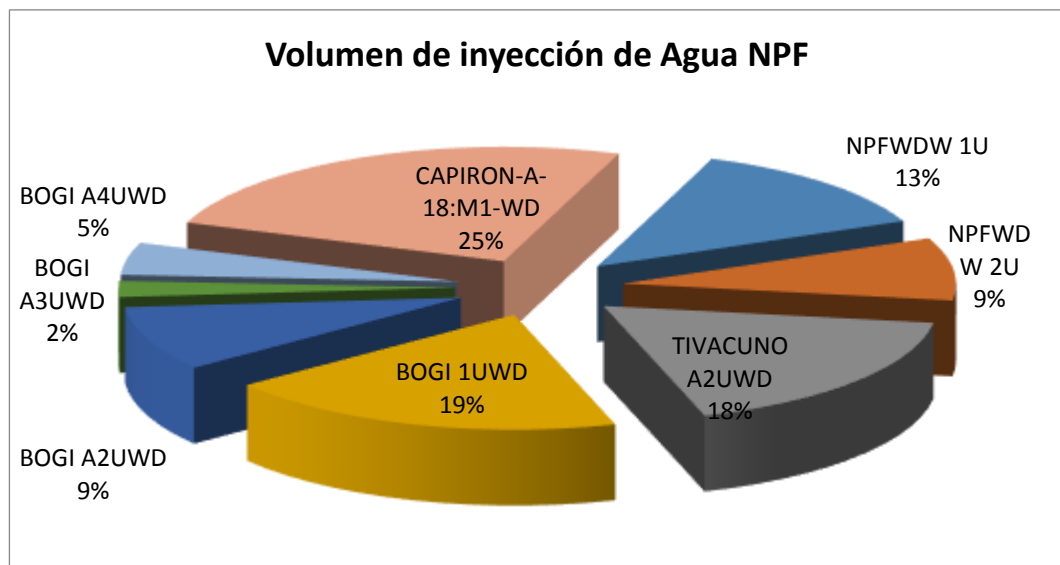
Para definir la población nos basamos en el concepto de Cárdenas 1974, considera que: “Una población es un conjunto de elementos que presentan una característica común”

Para la presente información tendremos una población de 24 Bombas de 1500 HP ubicadas en el Bloque 16 de Repsol.

Bernal define como muestra a: “Parte de la población que se selecciona, y de cual realmente se obtiene la información” para el desarrollo de estudio y sobre la cual se efectuará la investigación.

La muestra que proviene de la población se puede decir que es finita ya que se hace referencia a 3 bombas centrífugas de 1500 HP, ubicadas en el NPF (facilidades de producción del norte). En la figura 2.2. Se observa el volumen de reinyección de agua en el NPF y observamos claramente que el bomba de Capirón A-18:M1 reinyecta el 25% del total de agua, seguida por el Bogi 1UWD con el 19% y finalmente el Tivacuno A2WD con el 18%, por tal razón la muestra está definida, datos tomados de SGI Repsol 2013.

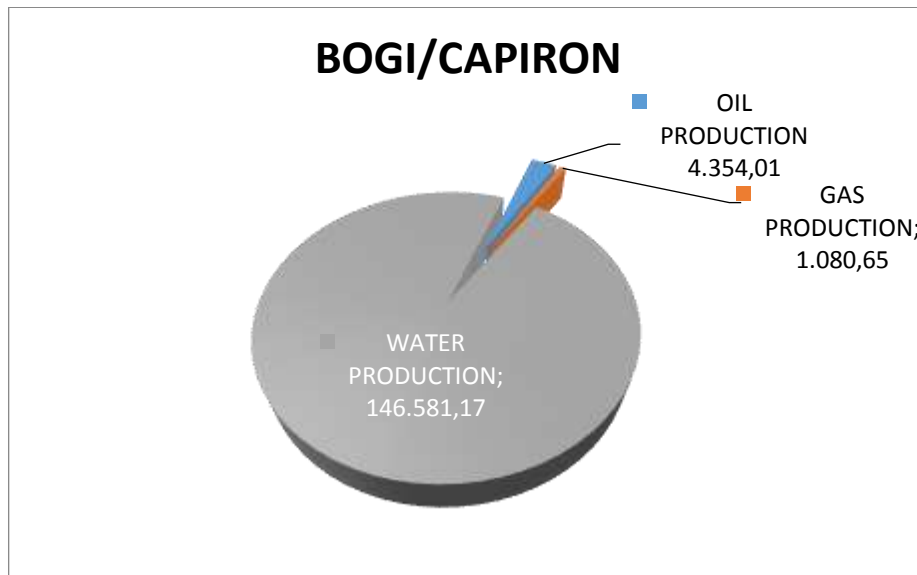
Figura 2.2 Reinyección de agua NPF



Fuente: Datos Sistema integrado gestión SGI Repsol 2013

En la figura 2.3. Se puede apreciar la producción de crudo en 4354,01 barriles día, gas con producción de 1.080,65 CFMD y agua con producción diaria de 146.581,17 barriles día en el BOGI/CAPIRON, siendo nuestra mayor demanda diaria la reinyección de agua dentro del Bloque 16 de Repsol.

Figura 2.3 Producción Boggi-Capirón1



Fuente: Estadísticas SGI Repsol 2013, Producción Boggi/Capirón NPF

2.4 Operacionalización de las variables

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

2.1. Estas fueron las siguientes:

1. El análisis del rendimiento de bombas centrífugas de 1500 HP ayudan a obtener datos de producción los cuales ayudan a identificar pérdidas en el sistema de bombeo.
2. Un programa de gestión el cual ayude a operar y mejorar la producción del Bloque 16 de Repsol ayudan a controlar de mejor manera el consumo racional de energía.

Tabla 2.1 Operacionalización de las variables

VARIABLE INDEPENDIENTE: Diagnóstico energético de las bombas de 1500HP del bloque 16 de Repsol.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Una bomba centrífuga es un dispositivo que recibe energía mecánica de un motor impulsor y transfiere esta energía a una cierta cantidad de fluido que la atraviesa. Las bombas son máquinas usadas para mover fluidos a través de tuberías mediante la potencia disponible de la misma.	Análisis Energético	Presiones de trabajo	PSI	Mediciones	Manómetros
		Caudal de bombas	BPD	Mediciones	Transmisor de Flujo
		Corrientes	Amperios	Mediciones	Relé 469 multilin

VARIABLE DEPENDIENTE: Mejora de la productividad mediante la implementación de un programa de gestión continua.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Conjunto de acciones que permiten el ahorro de energía eléctrica.	Eficiencia del sistema bombeo	Eficiencia de bombas	%	Cálculo	Estadística
		Costos	\$	Cálculo	Estadística
		Producción vs energía		Cálculo	Estadística

Fuente: El Autor

2.5 Instrumentos de la investigación

La recolección de la información primaria será por medio de la observación. Adicional se emplearán instrumentos de medición de las condiciones técnicas de las bombas centrífugas de 1500 HP fin de establecer los aspectos indicados en la Tabla 2.1 de Operacionalización de las variables.

2.5.1 Presión de trabajo.

Para la medición de la presión de succión de trabajo de las bombas centrífugas se emplea un manómetro como se muestra en la figura 2.4.

Figura 2.4 Manómetro a la succión de la bomba



Fuente: Autor, fotografía Bomba centrífuga Boque 16

Del mismo modo para la descarga de la bomba centrífuga se emplea un manómetro como se muestra en la figura 2.5.

Figura 2.5 Manómetro a la descarga de la bomba



Fuente: Autor, fotografía Bomba centrífuga bloque 16

2.5.2 Caudal de bombas.

Se utilizarán transmisores de flujo instalados en cada locación los mismos que se apreciarán en el sistema SCADA de Producción, la figura 2.6 muestra el transmisor instalado en sitio donde se aloja bomba centrífuga.

Figura 2.6 Transmisor de flujo bomba centrífuga



Fuente: Autor, fotografía Bomba centrífuga Bloque 16

2.5.3 Corrientes de operación.

El relé Multilin 469 de General Electric es del tipo de protección electrónico digital, en el cual se programa datos característicos de las bombas conforme datos de fabricante, es capaz de realizar mediciones de corrientes, temperaturas, sobrecargas, etc. lo que posibilita un trabajo eficiente y seguro.

Figura 2.7 Relé de seguridad Multilin 469



Fuente: <http://www.GEindustrial.com>

2.6 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.
- 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 bombas centrífugas que manejen altos caudales.

CAPÍTULO III

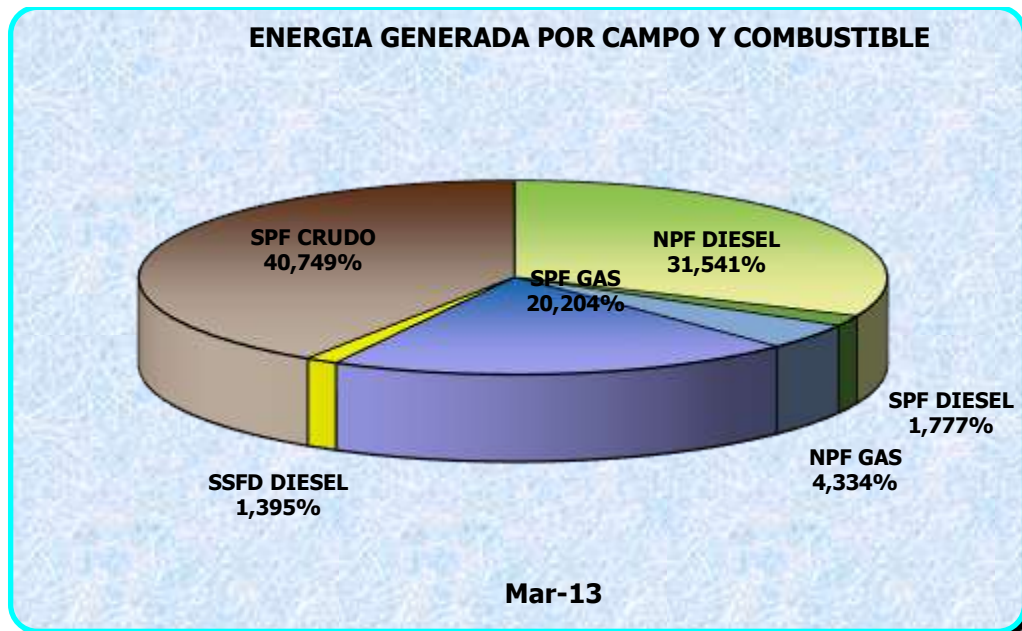
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se realiza el estudio de los equipos y componentes del sistema de reinyección de agua de formación de la planta NPF, para lo cual en primera instancia se identifica cada uno de los equipos y determinar cuáles son los más relevantes dentro del sistema para profundizar en el estudio de estos. Con el estudio realizado al finalizar cada sección se procede a dar una valoración técnica de la situación en la que se encuentra trabajando cada uno los equipos y componentes del sistema, teniendo como referencia para comparar las condiciones en las iniciales de cada uno de estos, además de normas específicas y rangos de trabajo recomendados por el fabricante.

3.1 Indicadores de generación eléctrica de Repsol

En la Figura 3.1 Se puede apreciar la energía generada por campo y combustible utilizado en producción de energía eléctrica, siendo las de mayor generación en el orden que se detalla, por crudo en el SPF con un 40,749%, la generación a diesel en el NPF con un 31,541%, la generación a gas en el SPF con un 20,204%, las siguientes con menor porcentaje de generación pero igual de importantes dentro de las facilidades tenemos, en el NPF la generación a Gas en un 4,334 % en el SPF la generación a diesel del 1,777% y finalmente Shushufindi con generación a diesel de 1,395%.

Figura 3.1 Energía generada por campo y combustible Repsol



Fuente: Datos generación SGI 2013

3.2 Tanques T-1118 A y T-1118 B de agua de formación.

El sistema de reinyección cuenta con dos tanques de almacenamiento de agua cuya denominación vienen dadas por T-1118A y T-1118B con una capacidad de almacenamiento de 25.000 BBLs, los mismos que mediante líneas de tubería son receptores del agua proveniente de los dos trenes de procesos con que cuenta la planta NPF, en la figura 3.2 se puede apreciar los tanques vistos desde el sistema SCADA de producción del NPF bloque 16 Repsol.

Figura 3.2 Tanques agua T-1118 A y T-1118 B de agua de formación



Fuente: Sistema SCADA Producción Repsol Bloque 16

3.3 Presión cabeza de tanques T-1118 A y T-1118 B

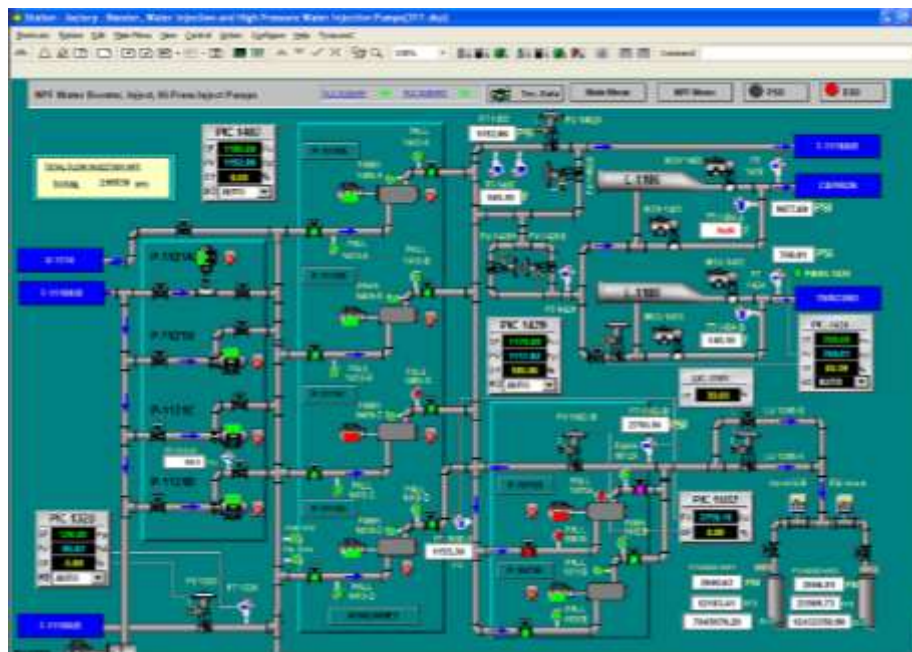
La presión que es generada por la columna de agua de formación almacenada en los tanques es denominada presión de cabeza, de tal manera que el nivel del líquido en el tanque es importante para que genere una presión suficiente a la salida de los tanques y no descienda hasta 1 PSI en su recorrido hasta la succión de las bombas Booster ya que si llega a ocurrir dicho descenso las bombas se apagan o se alarman a 1.5 PSI de acuerdo a los sensores de presión PSL y PSSL. En la sala de control se procura mantener el líquido a una altura promedio de 16 pies.

3.4 Bombas Booster

La norma API 610 décima edición, la cual está dedicada a bombas centrífugas, recomienda en la sección 5.1.14 que el punto de operación de la bomba se localice dentro de un 70% y 120 % con respecto al caudal de máximo rendimiento de la bomba, esto nos ayudará a tener un margen de eficiencia necesario para que una bomba esté dentro de parámetros operativos eficientes.

El sistema de bombas Booster tiene la misión de optimizar la tubería de descarga de cada una de las bombas que lo componen en su totalidad, además de elevar la presión del agua de formación proveniente de los tanques de almacenamiento de una presión de 5PSI aproximadamente hasta una presión de 65 PSI con el objetivo de cumplir y sobrepasar la presión de succión requerida por las bombas Intermedias. En la figura 3.3 Se aprecia la disposición de bombas Booster y tuberías que llegan desde los tanques de almacenamiento hacia la succión de las mismas.

Figura 3.3 Disposición de bombas Booster



Fuente: Sistema SCADA Producción Repsol Bloque 16

Hay que señalar que en la actualidad trabajan las 4 bombas Booster se encuentran trabajando las 24 horas del día de tal manera cuando se requiera realizar mantenimiento de una de ellas se maniobra a través de válvulas para mantener la presión suficiente y necesaria. Las bombas que actualmente están trabajando y forman parte del sistema son: P1121 A, P1121 B, P1121 C y P1121D

En la tabla 3.1 se detalla las principales características de la bomba P1121 A, dadas por el fabricante.

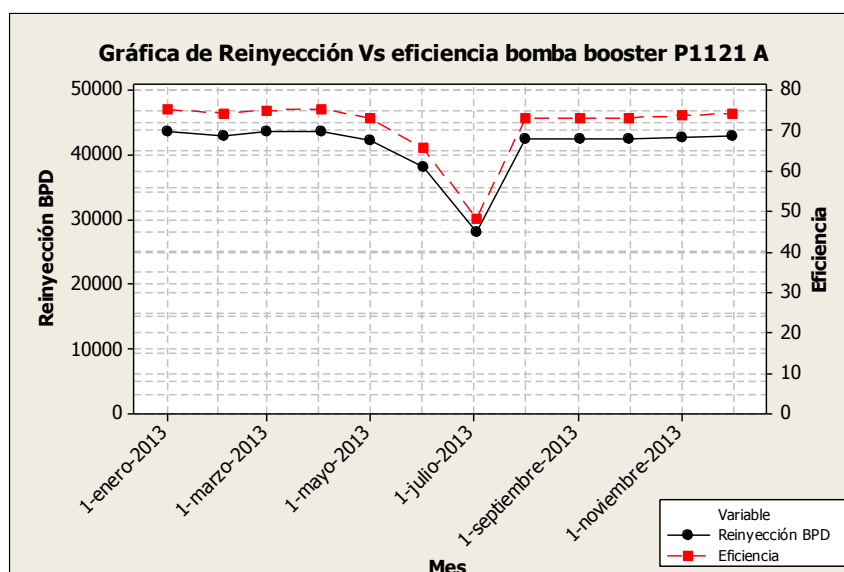
Tabla 3.1 Características de fabricante bomba Booster P1121 A

MARCA	POTENCIA HP	SERIE	VOLTIOS	POWER FACTOR	SF	RPM	AMPERIOS
Reliance Electric	100	1MAF90308	460	89,5	1,15	1785	111

Fuente: Producción Bloque 16 Repsol

En la figura 3.4 se observa la curva de eficiencia real del sistema vs producción durante el período 2013 de la bomba Booster P1121 A, se puede apreciar la media en lo referente a la eficiencia es alta con promedio del 73%, en el mes de Julio cae la producción de bomba y eficiencia a un 48% esto debido a la identificación de fugas de agua a través de sellos mecánicos por lo que se tiene que intervenir, cambiar sellos y se toma aproximadamente 7 días en rehabilitar la bomba, luego se ajusta a un promedio ascendente durante el año. Hay que hacer notar que el voltaje al cual está conectado es de 460 V, arranque directo sin protección extra como el Multilin269.

Figura 3.4 Curva de operación de bomba Booster P1121 A



Fuente: Producción Repsol Bloque 16

En la tabla 3.2 se detalla las principales características de la bomba P1121 B, dadas por el fabricante.

Tabla 3.2 Características de fabricante bomba Booster P1121 B

MARCA	POTENCIA HP	SERIE	VOLTIOS	POWER FACTOR	SF	RPM	AMPERIOS
Reliance Electric	250	VAQ11964	440	89,5	1,15	1800	130

Fuente: Producción Bloque 16 Repsol

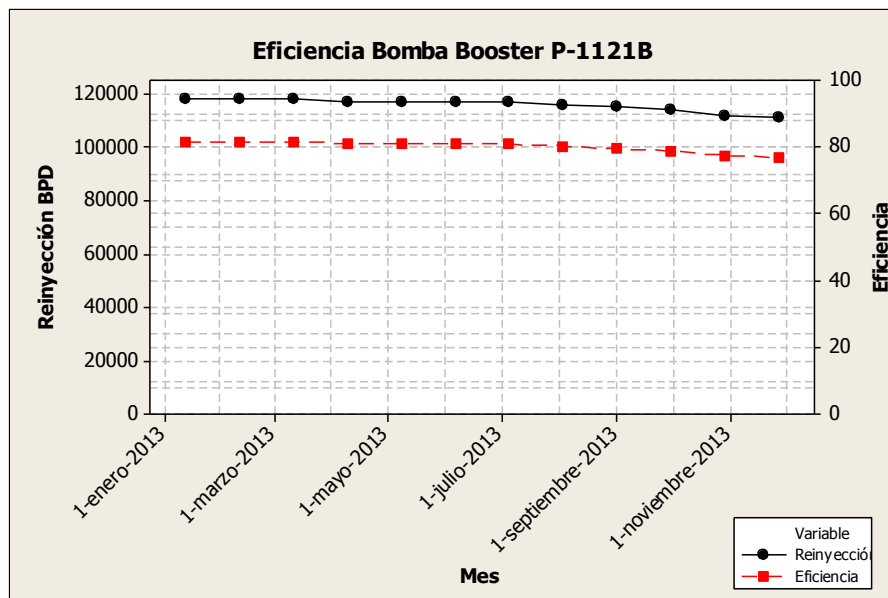
En la figura 3.5 se observa la curva de eficiencia real del sistema vs producción durante el período 2013 de la bomba Booster P1121 B, se puede apreciar la media en lo referente a la eficiencia es alta sobre los 80 %, para lograr realizar mantenimiento se debe forzar las válvulas de salida y regular la presión hasta 100 PSI este dato es proporcionado por operadores de producción del bloque 16 de Repsol, para no tener problemas con el sistema de agua, recordar que no se dispone de una bomba de emergencia para estos casos lo que impide un trato adecuado del sistema de agua dando lugar a pérdidas en el sistema de bombeo, y

sobreproducción al tener un bombeo hacia las bombas intermedias de 100Psi, siendo el mínimo 65 Psi.

El motor se alimenta de 4160 Voltios cuya corriente nominal es de 32 A, esto apunta a un consumo de corriente menor por el voltaje que maneja, en referencia a la P1121 A la misma que al tener un voltaje de alimentación menor 460 V, se tiene un consumo de hasta 111 A.

Hay que mencionar también que esta bomba tiene instalado un Multilin 269, el mismo que permite realizar las calibraciones de protecciones por sobrecargas, RTD's lo que ayuda a tener un control de protección más eficiente aunque el arranque es directo.

Figura 3.5 Curva de operación de bomba Booster P1121 B



Fuente: Producción Bloque 16 Repsol

En la tabla 3.3 se detalla las principales características de la bomba P1121 C, dadas por el fabricante.

Tabla 3.3 Características de fabricante bomba Booster P1121 C

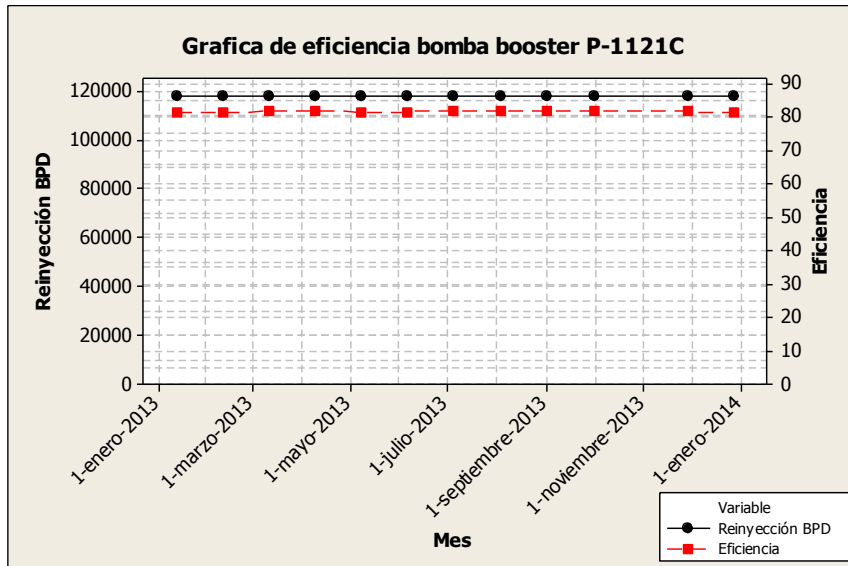
MARCA	POTENCIA HP	SERIE	VOLTIOS	POWER FACTOR	RPM	AMPERIOS
Teco-Westinghouse	250	KTC08A620	2360/4160	89,5	1192	132

Fuente: Producción Bloque 16 Repsol

En la figura 3.6 se muestra la curva de operación de la bomba P1121C, la cual muestra la eficiencia de la bomba respecto a la producción. La eficiencia se mantiene estable por promedio de 80% y se mantiene durante todo el año, es similar a la bomba Booster P1121 B. De igual manera no se tiene una bomba de reserva lo cual implica que se debe realizar un juego de válvulas para mantener estable el sistema.

Esta bomba posee también un Multilin 269, el mismo que permite realizar las calibraciones de protecciones por sobrecargas, RTD's lo que ayuda a tener un control de protección más eficiente aunque el arranque es directo.

Figura 3.6 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1121 C



Fuente: Producción Bloque 16 Repsol

En la tabla 3.4. Se aprecia las principales características de fabricante de la bomba Booster P1121-D, la misma que se caracteriza por su potencia (100HP) similar a la P1121 A, con voltaje de 460 Voltios cuyo consumo máximo es 111 Amperios.

Tabla 3.4 Características de fabricante bomba Booster P1121 D

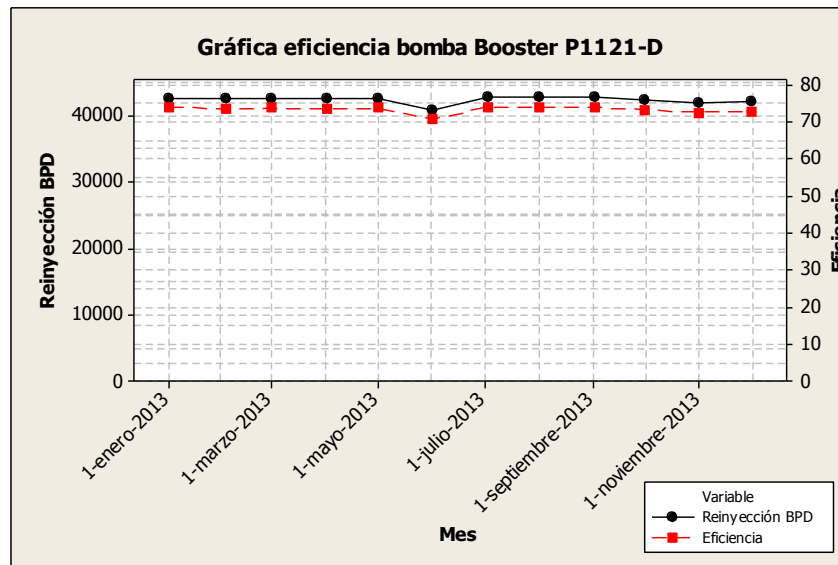
MARCA	POTENCIA HP	SERIE	VOLTIOS	POWER FACTOR	SF	RPM	AMPERIOS
Reliance Electric	100	1MA90308	460	89,5	1,15	1785	111

Fuente: Producción 16 Repsol

En la figura 3.7. Se muestra la curva de operación de la bomba P1121D, la cual muestra la eficiencia de la bomba respecto a la producción. La eficiencia se mantiene estable con un promedio de 73%, por el mes de Junio se observa una caída de eficiencia hasta un 70,68 % y reinyección de 40900 BPD debido a un cortocircuito sufrido en el breaker, provocando el apagón de la bomba. Cabe señalar que no se tiene un mantenimiento predictivo en tableros eléctricos donde se encuentran ubicados los arrancadores y sistemas de potencia en estas bombas Booster provocando mantenimientos correctivos sobre la marcha, baja eficiencia y pérdida de reinyección.

En el mes de Junio se perdió alrededor de 2,32 % de eficiencia, estas pérdidas no controladas dejaron de reinyectar 1790 BPD.

Figura 3.7 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1121 D



Fuente: Producción Bloque 16 Repsol

En la figura 3.8 se observa el cortocircuito en el bracker principal de la bomba P1121 D lo que ocasionó el paro de la bomba.

Figura 3.8 Cortocircuito Bracker principal bomba P1121 D



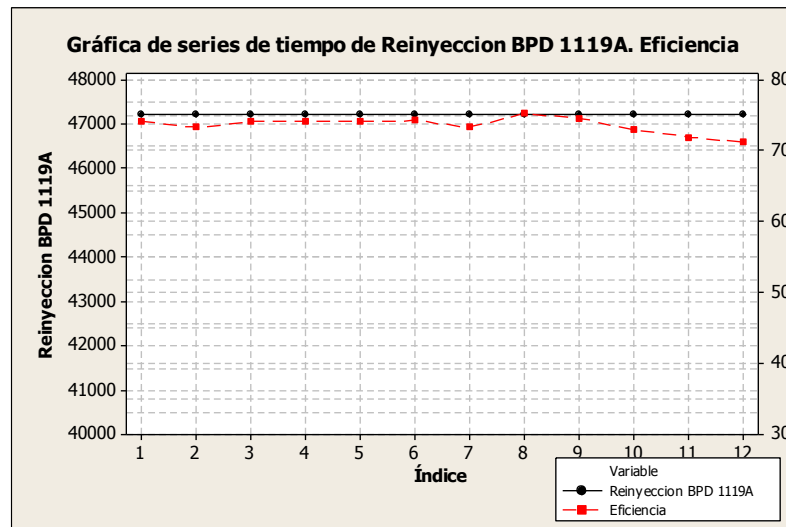
Fuente: Mantenimiento Eléctrico Bloque 16 Repsol

3.5 Bombas Intermedias

Las bombas intermedias son 4 actualmente pero trabajan 3 (A,B, D) la Presión de succión requerida es 65 psi, siendo la presión de descarga de 1158 psi se dirigen a cabezal y luego a pozos re inyectores.

En la figura 3.9 se puede apreciar la eficiencia de la bomba respecto al caudal de producción de la misma, como se puede notar existe un comportamiento saludable y de mejor apreciación en la curva de operación y eficiencia de la bomba 74%, ya para el mes de noviembre y diciembre se nota una caída de eficiencia, debido a la baja producción de crudo y el paro de bombas transportadoras en el SPF. Además la succión proveniente de las bombas Booster es de 110Psi sin olvidar que lo mínimo para trabajar con normalidad es de 65 Psi dando como resultado un sobre consumo.

Figura 3.9 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1119A

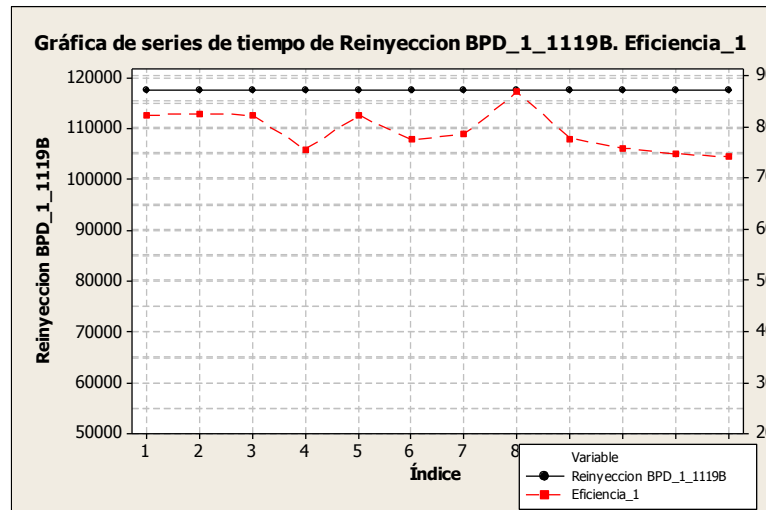


Fuente: Producción Bloque 16 Repsol

En la figura 3.10 se puede notar la eficiencia de la bomba P1119B así como su producción, esta bomba muestra picos de operación que se influyen debido a la pérdida de potencia en la Turbina del NPF, y obliga a bajar su eficiencia esta bomba funciona como un control de proceso, ya que cuando se debe sacar bombas de operación o bajar su productividad esta será la más adecuada si se requiere

liberar equipos de bombeo para compensar temperatura de turbinas del sistema de generación.

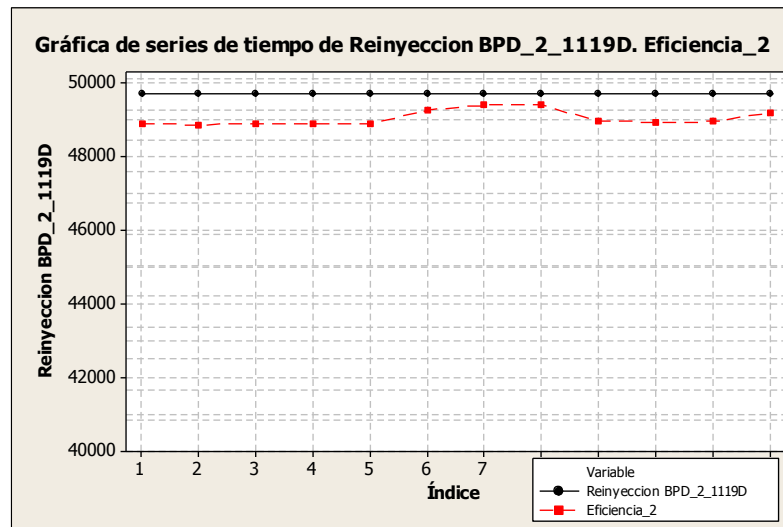
Figura 3.10 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1119B



Fuente: Producción Bloque 16 Repsol

En la figura 3.11 se aprecia la curva de eficiencia respecto a la producción de la bomba de intermedia P1119 D, la misma que presenta una eficiencia considerable donde se mantiene constante en los meses de enero a mayo con una media del 85%, luego existe una mejor producción en los meses de junio hasta agosto y nuevamente baja esto debido a los requerimientos productivos por parte de procesos.

Figura 3.11 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1119D



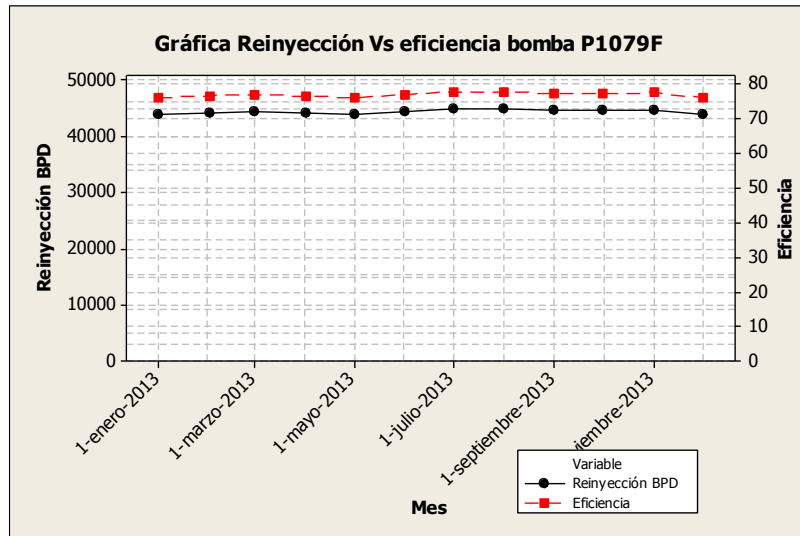
Fuente: Producción Bloque 16 Repsol

3.6 Bombas de reinyección

En el capítulo II, figura 2.2 se analizó el volumen de reinyección de agua en el NPF y la importancia de mantener una operación óptima del bloque 16 de Repsol. En la figura 3.12 se observa la Curva de eficiencia de la bomba Capirón A-18:M1 Tag: P1079F esta bomba maneja un porcentaje de reinyección alto dentro del NPF, bordeando el 25 % del total de reinyección de agua de formación.

Como evidenciamos durante el año se ha mantenido con un promedio de eficiencia del 75%, lo que hace que estemos dentro de un margen aceptable; el mantenimiento predictivo que si existe hacen que tengamos controlado el proceso de reinyección.

Figura 3.12 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1079-F

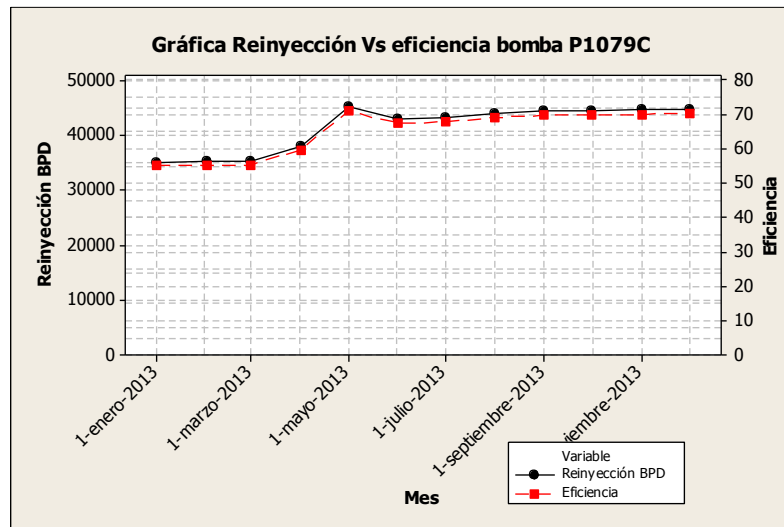


Fuente: Producción Bloque 16 Repsol

En el capítulo II, figura 2.2 se analizó el volumen de reinyección de agua en el NPF y la importancia de mantener una operación óptima del bloque 16 de Repsol, Bogi 1UWD Tag: P1079 C con el 19% del volumen de Reinyección en NPF es la segunda bomba de mayor volumen, en la figura 3.13 se observa la Curva de eficiencia de la bomba y sus respectivos porcentajes de reinyección y eficiencia, lo crítico es la fuga de agua de formación por el eje, esto origina pérdidas de producción en reinyección, mientras que en el paro de bomba se realiza el mantenimiento respectivo por parte del departamento mecánico en Repsol con sus debidos procedimientos.

En los meses de Enero –Marzo se tiene una producción desde 35000BPD estable pero con una eficiencia por debajo de lo esperado, mientras en Abril y mayo se observa el incremento de la reinyección a 43000BPD.

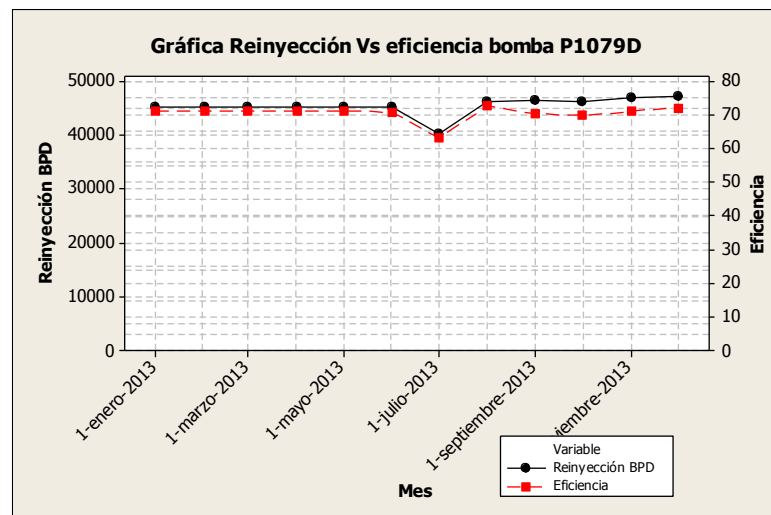
Figura 3.13 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1079-C



Fuente: Producción Bloque 16 Repsol

En el capítulo II, figura 2.2 se analizó el volumen de reinyección de agua en el NPF y la importancia de mantener una operación óptima del bloque 16 de Repsol, el Tivacuno A2WD Tag: P1079 D con el 18% del total de reinyección dentro del NPF. En la figura 3.14 se observa la Curva de eficiencia de la bomba y su volumen de reinyección mensual, promedio de eficiencia 88%.

Figura 3.14 Curva de eficiencia vs reinyección bomba P1079D



Fuente: Producción Bloque 16 Repsol

3.7 Mejora de la eficiencia energética de las Bombas Booster con la utilización de variadores de velocidad.

Los convertidores de frecuencia, variadores de velocidad o drives son un tipo de dispositivo que gobierna la velocidad de rotación de un motor controlando algunas características de su alimentación. Pueden operar con motores de CA o de CC así como trifásicos o monofásicos y lo hacen modificando la frecuencia de la alimentación en los motores de CA o variando la tensión en los de CC.

Originalmente los convertidores se desarrollaron para el control de procesos, por lo que los convierte en un producto ciertamente interesante en este campo permitiendo una mayor suavidad y una aceleración y desaceleración uniformes en las operaciones, evitando arranques y paros bruscos e innecesarios de los motores y gestionando con exactitud la velocidad de los mismos, el problema identificado en el capítulo III, sobre la necesidad de variar la velocidad de los motores eléctricos que impulsan la bombas Booster del Sistema, lleva a analizar y detallar los posibles beneficios de esta implementación a favor de mejorar la eficiencia del complejo industrial.

3.8 Energía consumida antes y después de la instalación de los variadores para bombas de 250 HP.

Se instala equipo de prueba en bomba P1121 B, en la tabla 3.5 se detalla la energía comparativa entre los dos casos, desde la instalación del variador de velocidad realizado en el mes de mayo, donde también se detalla la energía de ahorro en KW / mes.

Tabla 3.5 Consumo de potencia sin variador y con variador de la Bomba Booster P1121 B

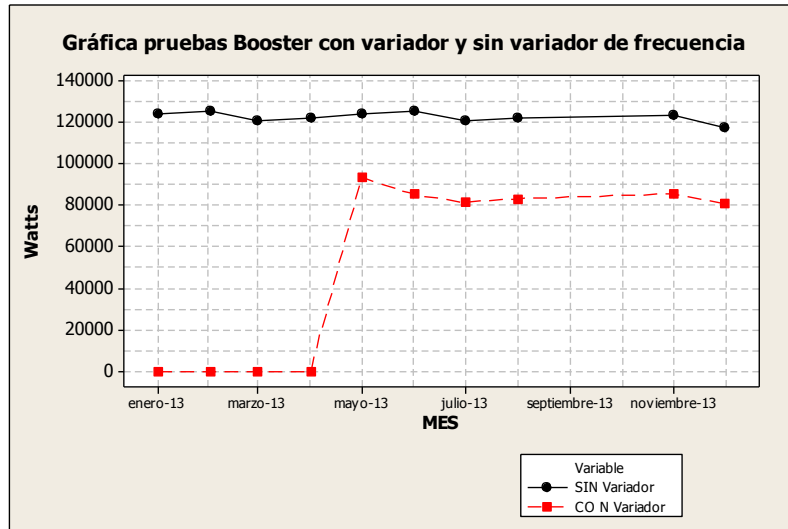
MES	ENERGIA TOMADA POR		ENERGIA	\$
	SIN Variador	CO N Variador	AHORRADA	
	(KWH/mes)		KWH/mes	Ahorro
ene-13	123.199	Sin dato	Sin dato	Sin dato
feb-13	123.924	Sin dato	Sin dato	Sin dato
mar-13	121.878	Sin dato	Sin dato	Sin dato
abr-13	121.073	Sin dato	Sin dato	Sin dato
may-13	123.199	94.538	28.661	3725,93
jun-13	123.924	86.114	37.810	4915,3
jul-13	121.878	80.256	41.622	5410,86
ago-13	123.073	82.033	41.040	5335,2
Sept-13	119.494	82.456	37.038	4814,94
Oct-13	116.239	85.728	30.511	3966,43
nov-13	124.006	84.575	39.431	5126,03
dic-13	118.528	81.658	36.870	4793,1
			USD	38087,79

Fuente: Instrumentación Bloque 16 Repsol

En la figura 3.15 se aprecia los valores referentes al consumo de energía de la bomba al no usar un variador de frecuencia y la recuperación de energía al instalar uno.

El drive instalado para estas pruebas es un Siemens 6SL3224-OXE41-3UA0, para una Potencia de 250 HP y cuya salida de corriente 250 Amperios.

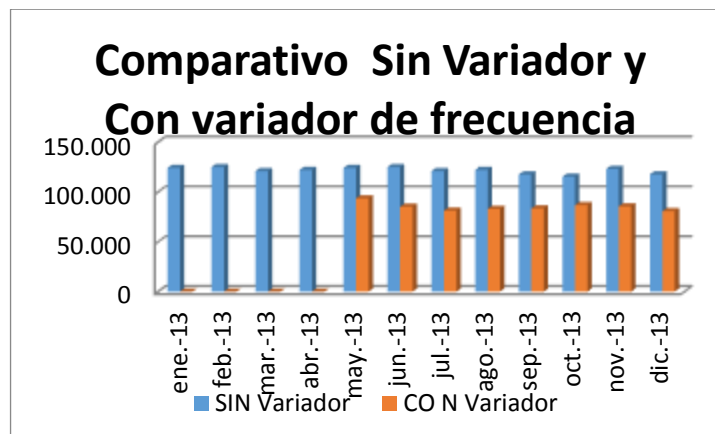
Figura 3.15 Curva de consumo energético de Bomba Booster P1121 B.



Fuente: Instrumentación Bloque 16 Repsol

Figura 3.16 se observa un comparativo donde claramente resalta el ahorro de energía a partir del mes de mayo donde se realiza el montaje de variador de frecuencia.

Figura 3.16 Gráfica de valores comparativos de energía consumida por la Bomba Booster P1121 B sin variador y con variador de frecuencia.



Fuente: Instrumentación Bloque 16 Repsol

3.9 Mantenimiento predictivo tableros eléctricos.

La termografía es el estudio de la condición de cualquier cuerpo desde el punto de vista de su temperatura.

Todo cuerpo emite calor, siempre y cuando esté por encima del cero absoluto de temperatura, es decir, por encima de los -273 grados centígrados.

La emisión de calor de un cuerpo hacia el exterior se llama radiación.

Por la radiación que emita un cuerpo, se producirá una longitud de onda que viajará por el medio circundante, dicha longitud de onda será mayor o menor, de acuerdo a la temperatura que se tenga.

Por tanto, cuando dicha longitud de onda llega al lente de un equipo o cámara de detección se produce una identificación de cada una de las zonas calientes o frías de acuerdo a un color respectivo que se observe en el cuerpo.

3.9.1 Justificación sobre termografía a la industria.

En muchos equipos eléctricos (breakers, transformadores, contactores, bushings, fusibles, etc.) es común detectar alguna fase con temperaturas mayores que las demás.

Cuando las temperaturas están siendo medidas en función del tiempo, sobre equipos que llevan corriente eléctrica, entonces se hará una corrección para compensar tanto la corriente y el tipo de enfriamiento existente alrededor de la máquina. La verdadera temperatura se determina por:

- Corrección del incremento térmico a una corriente de referencia.
Enfriamiento natural por convección o radiación.

$$\text{DELTA Tr} = \text{DELTA Tm} (\text{Ir} / \text{Im})$$

- Corrección del incremento de temperatura a una corriente de referencia.
Enfriamiento forzado de convección y radiación.

$$\text{DELTA Tr} = \text{DELTA Tm} (\text{Ir} / \text{Im})$$

Dónde:

DELTA Tr = Aumento de Temperatura al valor de la corriente de referencia.
(AC).

DELTA Tm= Aumento de Temperatura medido. (°C).

Ir = Corriente de Referencia (A).

Im = Corriente Medida (A).

Lo anterior nos indica que al existir puntos calientes, se presenta un mayor consumo de corriente, asociado con el aumento de la temperatura.

Este mayor consumo de corriente origina mayores consumos de Potencia y por ende aporta a que los costos por generación lleguen a tener una alta consideración.

Las estadísticas de las compañías aseguradoras revelan que las fallas asociadas con equipos eléctricos, conexiones sueltas, causan el 25 % de todas las fallas en breakers, contactores, circuitos y cables.

3.9.2 Incrementos de Temperatura.

Dentro de los sistemas eléctricos, hay muchos ejemplos de termografía detectando incrementos de temperatura y de esta forma, prevenir fallas catastróficas de máquinas y componentes.

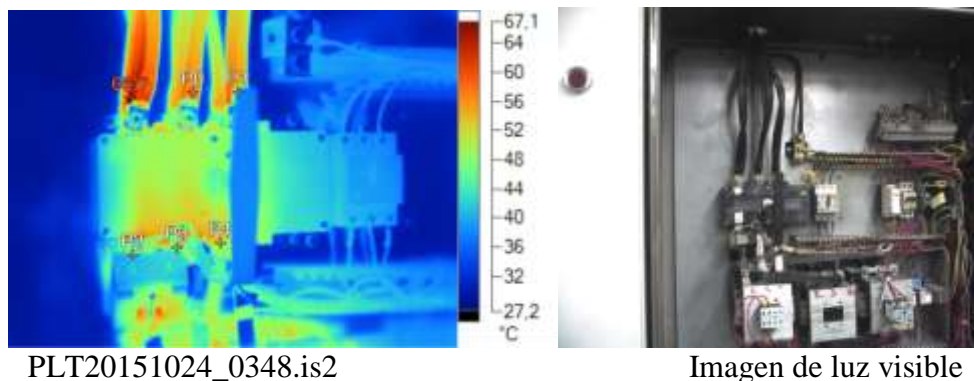
La relación entre corriente y resistencia es la base a partir de la cual el problema puede ser identificado. Generalmente un punto caliente es el resultado de soldadura, óxido o corrosión en las conexiones eléctricas. La condición, y algunas veces más importantes, la información predictiva, se produce comparando las tendencias de la temperatura medida contra la corriente.

Así en sistemas eléctricos un posible punto caliente se mide con exactitud y la predicción de que se genera un cambio en la resistencia puede resultar en el efecto de duplicar el valor de la corriente, en el Anexo 5 se observa la Norma ISO18434-1 la cual permite llevar a cabo el monitoreo y diagnóstico de máquinas basadas en la Termografía.

Un mal contacto cumple un efecto de resistencia, el cual puede generar una potencia disipada que se agrava cuando el equipo se encuentra a plena carga.

En el estudio de las bombas Booster específicamente en la bomba P1121 D, se obtuvo que en el mes de Junio se perdió alrededor de 2,32 % de eficiencia, por estas pérdidas no controladas dejaron de reinyectar 1790 BPD, como se mencionó en el presente capítulo dentro de bombas Booster se compensa la presión con la maniobrabilidad de válvula manual donde se choca (cierra) para obtener la presión necesaria para la succión de las bombas intermedias, en la figura 3.17 se realiza el análisis termográfico de Breaker P1121 A donde se aprecia en la fase R con una temperatura registrada por cámara de 66 °C.

Figura 3.17 Análisis Térmico de fases bomba P1121 A



Fuente: Análisis térmico CCM P1121 A Bloque 16 Repsol

Actualmente no se tiene un registro controlado de Termografía en los tableros eléctricos de las bombas Booster, mientras que en equipos de mayor potencia si se registran en Máximo dichas imágenes y correctivos que se los realiza en conjunto con mantenimiento anual de bombas.

3.10 Mantenimiento predictivo en base a vibraciones en bombas centrífugas.

El análisis de vibraciones, la termografía, el análisis de lubricantes, entre otras son técnicas de mantenimiento predictivo que permiten hallar las causas de posibles fallos anticipándose a la avería. Para la implantación de un mantenimiento predictivo resulta imprescindible la realización de un programa y una organización que aseguren el seguimiento constante y riguroso de los elementos que componen la empresa.

El intervalo entre mediciones depende de cada equipo y puede variar desde dos meses a una medición continua, según el tipo e importancia en el proceso. Los puntos elegidos para tomar vibraciones son aquellos donde puede ser posible encontrar un defecto que afecte al buen funcionamiento de la maquinaria, serán lugares en los que se alojen rodamientos, ventiladores, engranajes o uniones entre ejes. En los puntos a medir se tomarán valores de velocidad, aceleración o desplazamiento, en función de la situación del punto y de las características de la máquina.

El análisis de vibración se ha tomado de una de las bombas con mayor Reinyección, como se indicó en el Capítulo II, figura 2.2, el Capirón A18:M1 bomba P-1079 F cuya reinyección es del 25% del total del NPF.

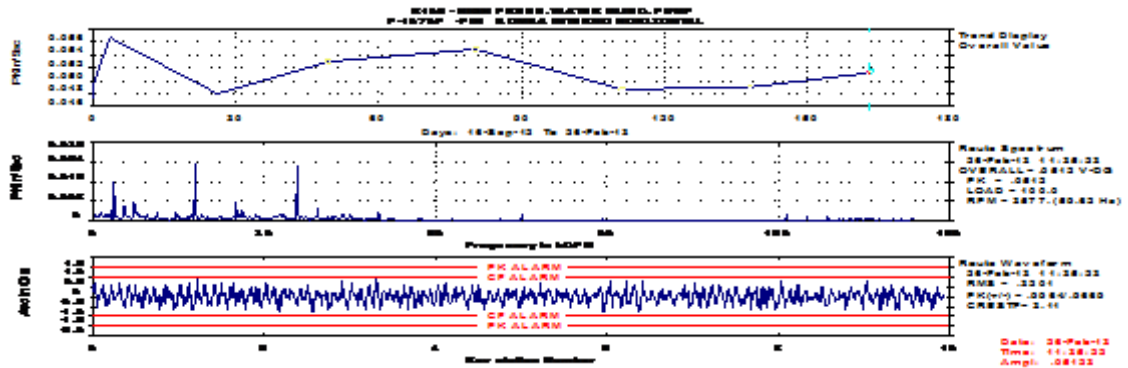
3.11 Análisis Interno Horizontal.

La figura 3.18 muestra el análisis global de la bomba interno horizontal P1079F, donde se muestra una variación que va desde 0,048 In/sec donde el pico máximo está en 0,057 tomando el valor según la norma ISO 10816-3 acorde a la velocidad de la vibración y al grupo que corresponde. Dentro de una vibración global el aspecto más importante es conocer cuánto está vibrando el equipo.

La siguiente forma corresponde a un análisis de espectro de frecuencia baja donde predictivamente se puede observar si en el equipo existe desbalanceo, desalineación. Como se aprecia en el espectro el mayor valor está en 0.0185 In/sec, dentro de parámetros normales.

Finalmente en el espectro de G-s de gravedad se tiene variaciones mínimas, donde la alarma de CF (Cresta) está en 0,9 considerada como aviso de alerta y un PK (Pico) está en 1,5.

Figura 3.18 Vibraciones bomba P1079 F interno horizontal



Fuente: Análisis espectral interno horizontal

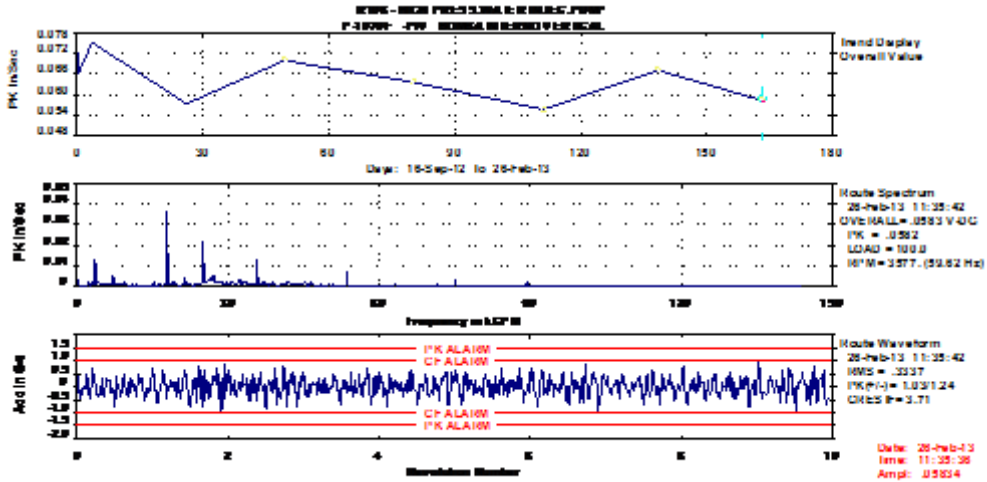
3.12 Análisis Interno Vertical.

La Figura 3.19 muestra el análisis global de la bomba interno vertical de la bomba P1079F, donde se muestra una variación que va desde 0,075 In/sec donde el pico máximo está en 0,037 tomando el valor según la norma ISO 10816-3 acorde a la velocidad de la vibración y al grupo que corresponde.

La siguiente forma corresponde a un análisis de espectro de frecuencia baja donde predictivamente se puede observar si en el equipo existe desbalanceo, desalineación. Como se aprecia en el espectro el mayor valor está en 0.036 In/sec, dentro de parámetros normales.

Finalmente en el espectro de G-s de gravedad se tiene variaciones mínimas, donde la alarma de CF (Cresta) está en 0,9 considerada como aviso de alerta y un PK (Pico) está en 1,5.

Figura 3.19 Vibraciones bomba P1079 F interno vertical



Fuente: Análisis espectral interno vertical

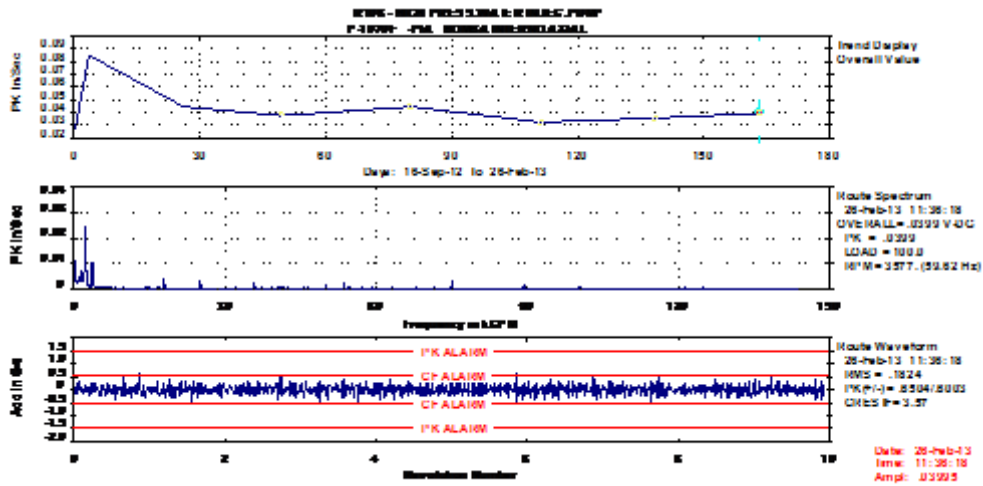
3.13 Análisis Interno Axial.

La Figura 3.20 muestra el análisis global de la bomba interno Axial de la bomba P1079F, donde se muestra una variación que va desde 0,03 In/sec donde el pico máximo está en 0,075 tomando el valor según la norma ISO 10816-3 acorde a la velocidad de la vibración y al grupo que corresponde.

La siguiente forma corresponde a un análisis de espectro de frecuencia baja donde predictivamente se puede observar si en el equipo existe desbalanceo, desalineación. Como se aprecia en el espectro el mayor valor está en 0.026 In/sec, dentro de parámetros normales.

Finalmente en el espectro de G-s de gravedad se tiene variaciones mínimas, donde la alarma de CF (Cresta) está en 0,9 considerada como aviso de alerta y un PK (Pico) está en 1,5, donde los valores están dentro del rango de datos óptimos.

Figura 3.20 Vibraciones bomba P1079 F interno axial



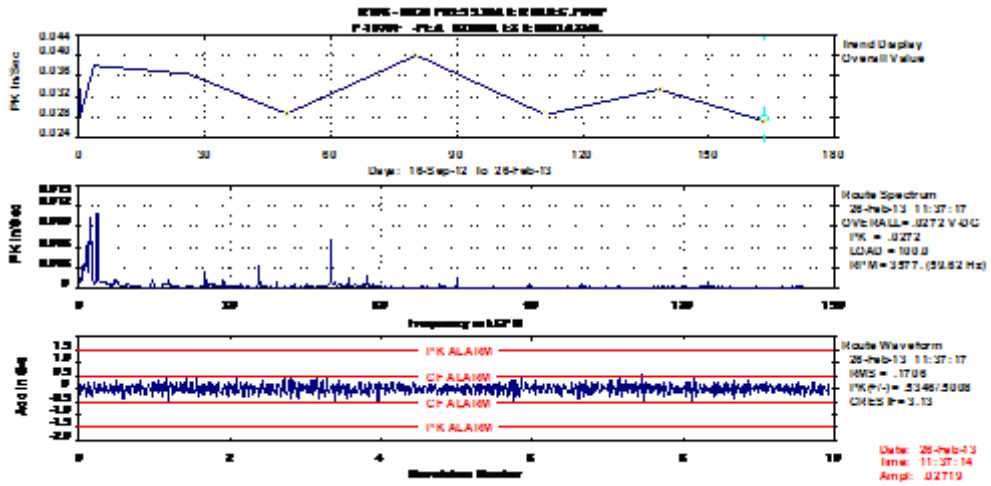
Fuente: Análisis espectral interno Axial

La figura 3.21 muestra el análisis global de la bomba externo Axial de la bomba P1079F, donde se muestra una variación que va desde 0,028 In/sec donde el pico máximo está en 0,037 tomando el valor según la norma ISO 10816-3 acorde a la velocidad de la vibración y al grupo que corresponde.

La siguiente forma corresponde a un análisis de espectro de frecuencia baja donde predictivamente se puede observar si en el equipo existe desbalanceo, desalineación. Como se aprecia en el espectro el mayor valor está en 0.01In/sec, dentro de parámetros normales.

Finalmente en el espectro de G-s de gravedad se tiene variaciones mínimas, donde la alarma de CF (Cresta) está en 0,9 considerada como aviso de alerta y un PK (Pico) está en 1,5, donde los valores están dentro del rango de datos óptimos.

Figura 3.21 Vibraciones bomba P1079 F Externo axial



Fuente: Análisis espectral interno Axial

CAPÍTULO IV

LA PROPUESTA

4.1 Título de la propuesta

Diseño de un esquema de gestión continua de la eficiencia energética para optimizar la producción en el Bloque 16 de Repsol.

4.2 Justificación

La productividad operacional en plantas industriales, estaciones de bombeo depende de la eficiencia con que se manipulen las bombas centrífugas instaladas siendo esencial eliminar las fallas mecánicas, tales como: las deficiencias en el proceso de selección, los errores en el montaje y operación, las fallas en el manejo de los sellos mecánicos y la baja contabilidad del mantenimiento.

El Diagnóstico Energético es una serie de etapas lógicas que se tienen que realizar en las bombas centrífugas de 1500 HP cuyo objetivo es identificar y evaluar las oportunidades de ahorro de energía más rentables un adecuado plan de mantenimiento ayuda a la consecución de que los sistemas productivos continúen desempeñando las funciones deseadas y de esta manera contribuyen a conservar las actividades productivas, de las cuáles la empresa obtiene rentabilidad económica.

Utilizar medios y técnicas en motores de corriente alterna es una de las formas más eficientes de darle un uso racional a la energía (URE), variar la velocidad en motores de corriente alterna es donde las industrias han estado incursionando, el ahorro en el consumo de la misma es elevado cuando no se tiene control sobre la velocidad.

Un Variador de frecuencia puede reducir el consumo de energía hasta un 60% variando la velocidad del motor. Incluso una reducción pequeña en la velocidad puede representar ahorros significativos.

Partiendo de la premisa de que al tener un mayor consumo de corriente se está demandando mayor potencia, se hace necesario regular el consumo energético, puesto que no solamente se tiene un impacto económico, sino también social porque afecta el medio ambiente de forma directa debido a que se disminuye su generación.

4.3 Objetivo

Objetivo General

Diseñar un esquema de gestión continua de la eficiencia energética para optimizar la producción en el Bloque 16 de Repsol.

Objetivos Específicos

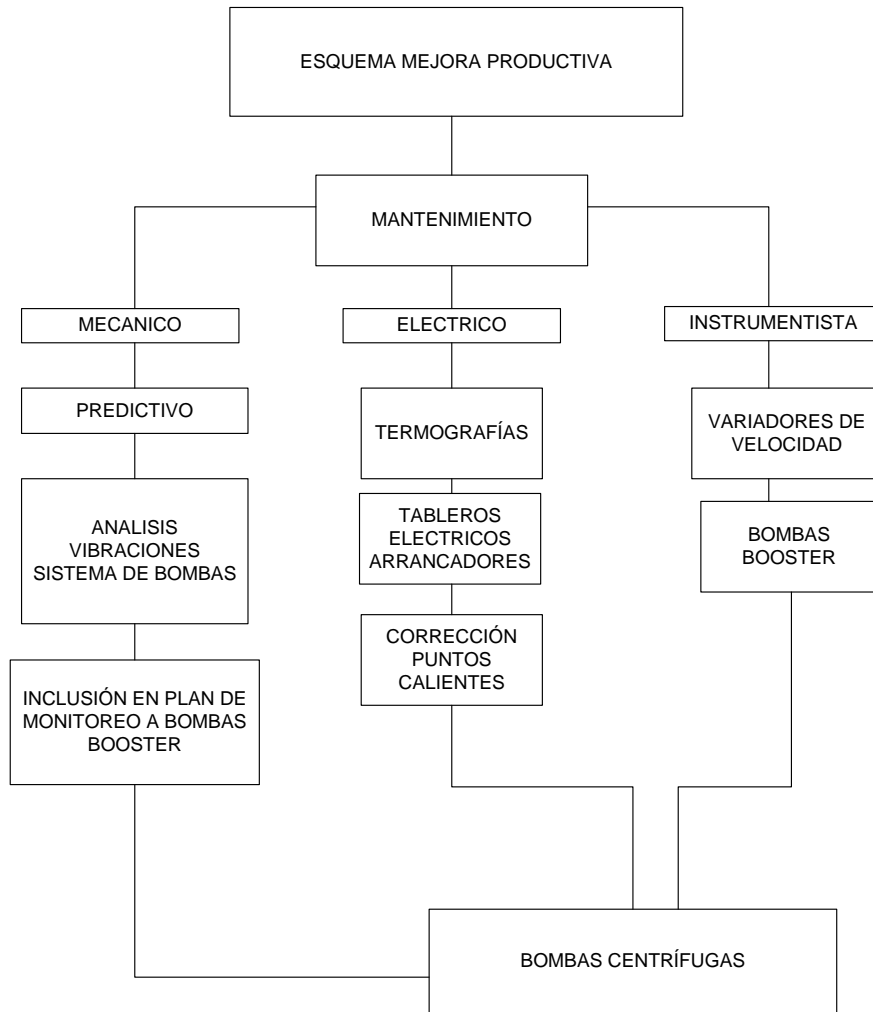
- Establecer rutinas operativas y de mantenimiento que garantice el correcto funcionamiento continuo de las bombas centrífugas de 1500HP.
- Evaluar el aspecto económico que implica el empleo de un esquema de gestión continua de las bombas centrífugas de 1500 HP.

4.4 Estructura de la propuesta

En el capítulo III de la presente investigación se identifica la situación actual de trabajo de las bombas centrífugas de 1500 HP de Repsol y los diferentes factores que afectan su rendimiento. Lo que se pretende con esta propuesta es aprovechar potenciales de ahorro energético y además mantener la producción continua y eficiente.

Los elementos que influyen en la eficiencia y control de las bombas están determinados en el diagrama 4.1 donde se aprecia la estructura de la propuesta.

Figura 4.1 Estructura de la propuesta



Fuente: Autor Bloque 16 Repsol

El esquema de mejora con respecto a los mantenimientos asociados a la eficiencia en bombas centrífugas de 1500 HP parten del estudio realizado en el Capítulo III, donde se aprecia los principales eventos no controlados que provocan caídas de rendimiento, cada una de ellas serán analizadas en líneas siguientes.

4.4.1 Departamento de Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo se formula en base a una serie de acciones que se toman y las técnicas que se aplican con el objetivo de detectar posibles fallas y defectos de maquinaria en las etapas incipientes para evitar que las fallas se

manifiesten en una falla más grande durante la operación, evitando que ocasionen paros de emergencia y tiempos muertos, causando impacto financiero negativo.

Dentro de los aspectos importantes para mantener un orden de mantenimiento adecuado para bombas centrífugas se tiene la obligación de realizar el debido análisis espectral de vibraciones de las bombas Booster, intermedias y de alta de forma periódica ya que son bombas de operación continua y además su función es vital para el sistema de bombeo en reinyección.

Actualmente se tiene un período semestral de vibraciones según frecuencia de mantenimiento en MAXIMO, con la implementación de frecuencias mensuales se asegura que la bomba esté trabajando de manera correcta sin la necesidad de optar por un mantenimiento correctivo que es al cual no se debe llegar.

Para este caso se dispone de un equipo de vibraciones CSI2130 del fabricante EMERSON unidad portátil de análisis de condiciones de equipos mecánicos, para analizar las vibraciones de maquinarias para la detección temprana de potenciales problemas, antes que estos lo lleven a paradas no programadas de planta.

A raíz de que el 50% de los problemas mecánicos son causados por el desgaste de los rodamientos, el monitoreo de condiciones es uno de los componentes principales de un programa de confiabilidad.

El CSI2130 como se muestra en la figura 4.2 posee una de las características más versátiles en su gama ya que posee canales de recolección de datos instantáneos, los usuarios pueden obtener lecturas verticales, horizontales y axiales en un rodamiento de forma simultánea.

Otra capacidad adicional del CSI 2130 le permite a los usuarios realizar análisis de vibraciones individuales, duales, o de cuatro canales, análisis cruzados, análisis de transientes, análisis estructurales, monitoreo de motores de corriente alterna, y balanceo dinámico de 4 planos, otorgando una herramienta completa, fácil y rápida de usar para una evaluación precisa del estado de la maquinaria rotativa.

Figura 4.2 Equipo de medición predictivo CSI 2130



Fuente: Autor Bloque 16 Repsol

4.4.2 Departamento de Mantenimiento Eléctrico

Dentro del departamento se ha proyectado el control de energía con pérdidas de puntos calientes esto implica una disipación de energía por causa de malos ajustes en bornes y pernos de cables y barras dentro de tableros eléctricos de bombas, actualmente no se dispone de este análisis termográfico el mismo que nos ayudará a tener un control predictivo de tableros de control de bombas y en barras el período de monitoreo termográfico será semestral y se lo realizará en coordinación con producción en el caso de presentar puntos calientes considerables.

Las cámaras termográficas por infrarrojos son la primera línea de defensa en un programa de mantenimiento predictivo. Los cambios de temperatura son un parámetro clave en el control de equipos y, dado que la termografía no necesita contacto, los técnicos pueden medir rápidamente la temperatura de los equipos sin interrumpir su funcionamiento. La termografía destaca en la medida de unidades frente a la medida de puntos.

Una cámara termográfica captura el perfil de temperatura de un objeto completo como una imagen bidimensional. Los técnicos pueden revisar la temperatura tanto de los componentes fundamentales como de toda la superficie de la unidad, o bien

comparar una unidad en buen estado con un problemática, y determinar así rápidamente en qué lugar se debe investigar. Las cámaras termográficas también pueden almacenar imágenes anteriores y actuales para compararlas, así como cargar imágenes en una base de datos centralizada, existen muchos usos a los que se debe aplicar usando cámaras termográficas seguidamente se tiene varias características de medición.

Para este caso se dispone del equipo FLUKE T150FP como muestra la figura 4.3, una cámara termográfica que permite obtener imágenes de alta resolución con detectores 320x240 con una sensibilidad térmica alta ($\leq 0,05$ C), una velocidad de 60 Hz cuyo detector permite mostrar temperaturas en tiempo real en su pantalla de 5 pulgadas.

Figura 4.3 Equipo de medición predictivo FLUKE T150FP



Fuente: Autor Bloque 16 Repsol

- Supervisión y medida de temperaturas de rodamientos en motores grandes u otros equipos giratorios.
- Identificación de "puntos calientes" en equipos electrónicos.
- Identificación de fugas en recipientes herméticos.
- Búsqueda de aislamientos defectuosos en tuberías u otros procesos aislados.
- Búsqueda de conexiones defectuosas en circuitos eléctricos de alta potencia.

- Localización de interruptores automáticos sobrecargados en un cuadro eléctrico.
- Identificación de fusibles en el límite de su capacidad nominal de corriente, o próximos al mismo.
- Identificación de problemas en el cuadro de distribución eléctrica.
- Captura de lecturas de temperatura de procesos.

Se puede notar en la figura el desbalance de energía que existe en el arrancador de la Bomba Booster P1121 A como se muestra en la figura 3.17 del capítulo III, dónde existe mayor radiación térmica en la fase R entrada con 66°C, lo que implica paro de motor-bomba y cuyo mantenimiento consistirá en evaluar cable de conexiones, soldadura de borne, limpieza y ajuste de terminal señalado.

4.4.3 Operaciones de Producción

En la parte de operaciones de producción se verificará los set points de operación de las bombas de reinyección en base a la experticia de los distintos operadores, contrarrestando con los datos del fabricante.

En la figura 4.4 se observa la estructura que se dará a la operación de bombas realizada por personal operativo.

Figura 4.4 Estructura para el área operativa



Fuente: Autor Bloque 16 Repsol

Se generan las plantillas de eficiencia que permitirá registrar datos diarios de bombas para mantener el debido control de parámetros eléctricos y productivos diarios, como se indica en la figura 4.5, donde la plantilla está diseñada para ingreso de datos y cálculos aproximados del consumo de las bombas mencionadas en la presente investigación, esto garantizará el control de parámetros operativos, donde generará reportes diarios, mensuales y anuales los mismos que serán valorados con el fin de mantener controlados los procesos productivos de las bombas. Las personas encargadas de realizar las distintas actividades son mencionadas a continuación en la tabla 4.1 de responsabilidades.

Tabla 4.1 Tabla de responsabilidades

Jefe de Producción	1. Revisa y verifica el cumplimiento de procedimientos, registros e instructivos.
Coordinador de Mantenimiento	1. Elabora indicadores, procedimientos, registros e instructivos para su posterior revisión y aprobación.
Técnicos Eléctricos, Mecánicos, instrumentación	1. Cumplen procedimientos.
Operadores de Producción	1. Cumplen con este procedimiento. 2. Ingresan registros de datos de todos los parámetros de funcionamiento de bombas. 3. Operan producción eficiente con Datos de Center Line.

Fuente: Autor

Mediante la habilidad de los operadores de producción y márgenes de aprovechamiento de bombas se generan las Plantillas para el cálculo de eficiencia de equipos inyección de agua del NPF. La figura 4.5 muestra la plantilla levantada para el cálculo de la eficiencia en bombas.

Figura 4.5 Plantilla para el cálculo de eficiencia de equipos inyección de agua NPF

LOCACION	SERVICIO	TAG	Caudal Q	Presion de succión	Presion de descarga.	THD (Total Dinamic head)	Densidad	Temperatura	Energia Ingreso a Motor (P)	Frecuencia	*Potencia Hiraulica (Ph)	**Eficiencia Combinada (ηc)	Consumo Eléctrico Referido al Total del Bloque 16	A	Observaciones
			BPD	PSI	PSI	ft	lb/ft3	oF	kW	Hz	kW	%	%		
NPF	BOMBA INTEMEDIA	P-1119-A					62,40				0,00	#iDIV/0!	0,00	0	
		P-1119-B					62,40				0,00	#iDIV/0!	0,00	0	
		P-1119-D					62,40				0,00	#iDIV/0!	0,00	0	
WELLPAD	WELLPAD	P-1079-C				62,40				0,00	#iDIV/0!	0,00	0		
BOGI	ALTA PRESION	P-1079-F				62,40				0,00	#iDIV/0!	0,00	0		
CAPIRON	ALTA PRESION	P-1079-D				62,40				0,00	#iDIV/0!	0,00	0		
NPF	BOMBA BOOSTER	P-1121-A					62,40				0,00	#iDIV/0!	0,00	0	
		P-1121-B					62,40				0,00	#iDIV/0!	0,00	0	
		P-1121-C													
		P-1121-D					62,40				0,00	#iDIV/0!	0,00	0	
* $Q \times H \times \gamma \times 9.81 / 1000$															
** $Ph / P \times 100$															

Fuente: Autor Bloque 16 Repsol

Generación de CENTER LINE de máquina, datos experimentales en consideración con bombeo de agua para un proceso operativo controlado se generan los Settings operativos del sistema de bombeo, la figura 4.5 muestra la planilla de Center Line de bombas de agua del NPF, estos valores se ponen a consideración de la parte productiva según eficiencias de máquinas.

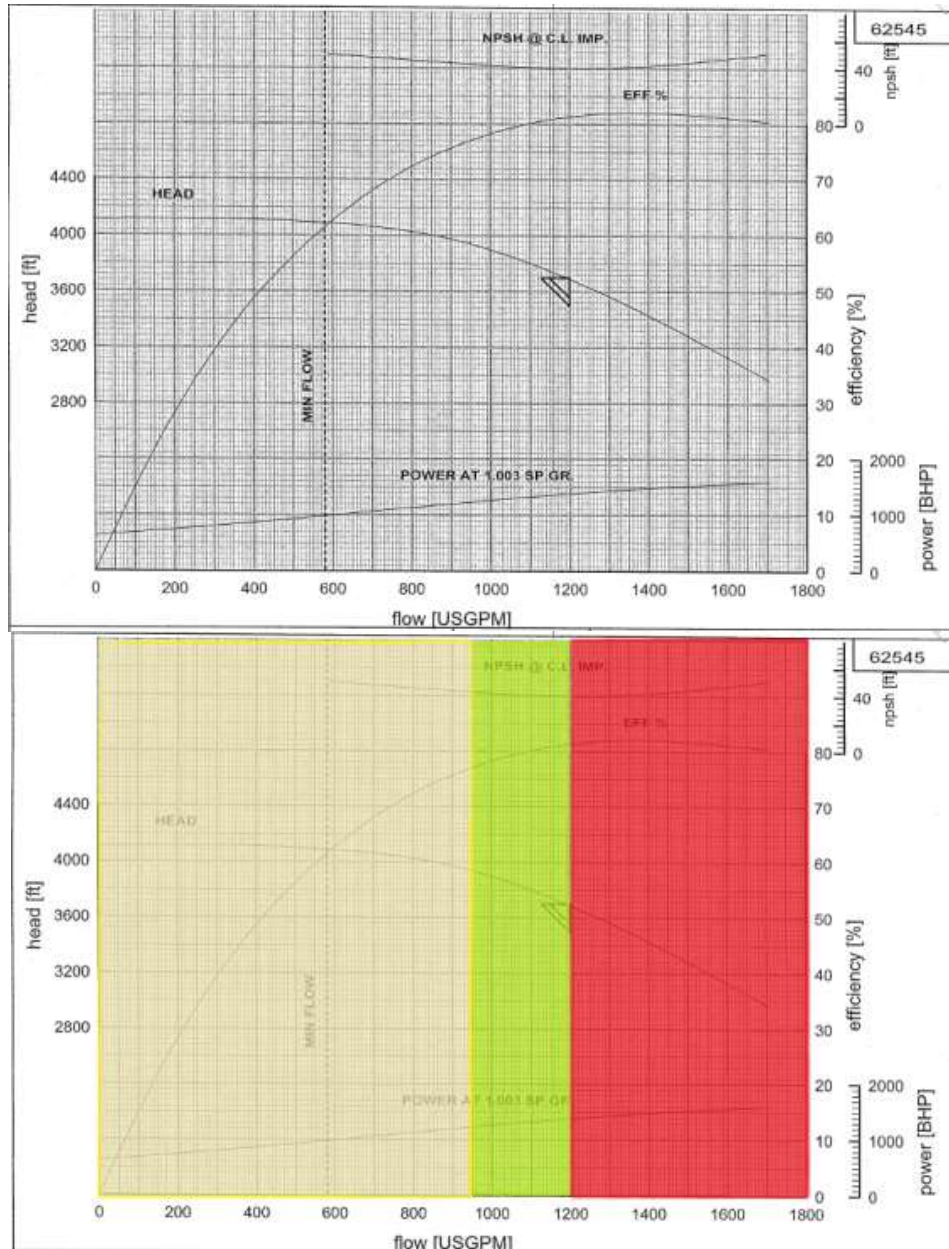
Figura 4.6: Generación Center Line de Bombas de agua NPF

BOMBAS SISTEMA DE AGUA												
TAG	HP	VOLTS	AMP. NOM	AMP. DIS	GPM	BPM	BPD	DESCRIP	INYECCI ON	SUCCION PSL	DESCARGA PSH	DESCARGA PSL
P-1121 A	100	480	111	116.55	1377	32.8	47211	Booster			PSH 110 psi	PSL 45 psi
P-1121 B	250	480	115	32.55	3444	82	118080	Booster			PSH 110 psi	PSL 45 psi
P-1121 C	250	480	116	32.55	3444	82	118080	Booster			PSH 110 psi	PSL 45 psi
P-1121 D	100	480	111	116.55	1377	32.8	47211	Booster			PSH 110 psi	PSL 45 psi
P-1123 A	125	480	136	142.8	886	23.5	33806	Sand jet			PSHH 125 psi	PSLL 30 psi
P-1119 A	1250	4000	156	163.8	1377	32.8	47211	Intermedia		PSLL 30 psi	PSHH 1350 psi	PSLL 800 psi
P-1119 B	3000	4000	362	380.1	3434	81.8	117737	Intermedia		PSLL 30 psi	PSHH 1350 psi	PSLL 800 psi
P-1119 C	3000	4000	366	380.1	3434	81.8	117737	Intermedia		PSLL 30 psi	PSHH 1350 psi	PSLL 800 psi
P-1118 D	1500	4000	182	191.1	1450	34.5	49714	Intermedia		PSLL 30 psi	PSHH 1350 psi	PSLL 550 psi
P-1079 A	1250	4000	154	161.7	875	20.8	30000	Wip	34000	PSLL 850 psi	PSHH 3300 psi	PSLL 2500 psi
P-1079 B	1250	4000	156	163.8	875	20.8	30000	Wip	26000	PSLL 850 psi	PSHH 3300 psi	PSLL 2500 psi
P-1079 C	1500	4000	317	332.85	1200	28.6	41143	Bogi	47200	PSLL350 psi	PSHH 3000 psi	PSLL 1750 psi
P-1079 D	1500	4000	317	332.85	1200	28.6	41143	Tiv	47200	PSLL410 psi	PSHH 3000 psi	PSLL 1750 psi
P-1079 F	1500	4000	317	332.85	1238	26.1	41143	Cap	52000	PSLL350 psi	PSHH 3000 psi	PSLL 1750 psi

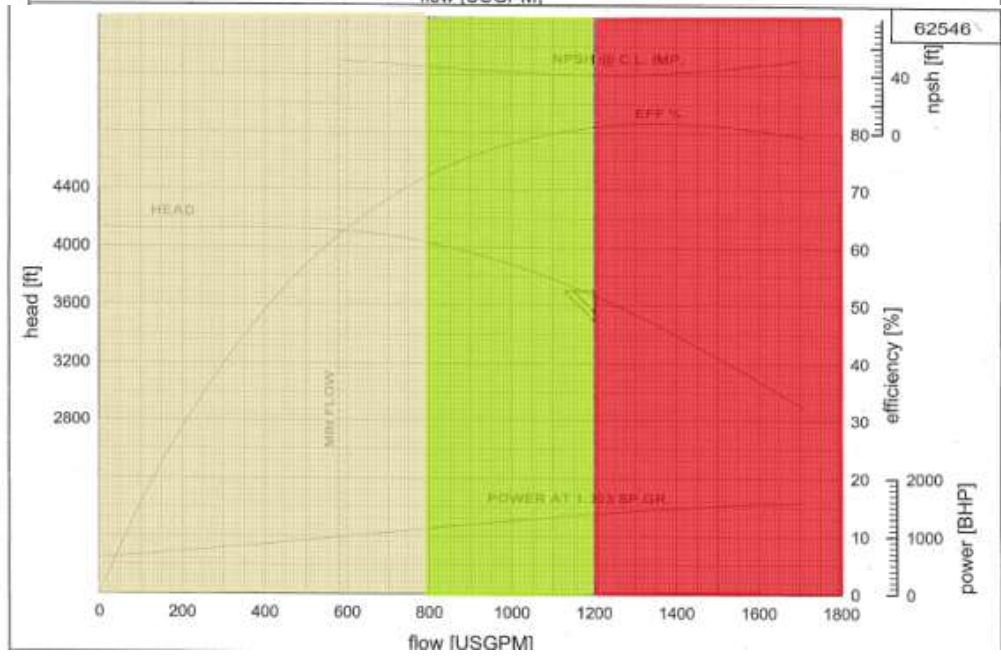
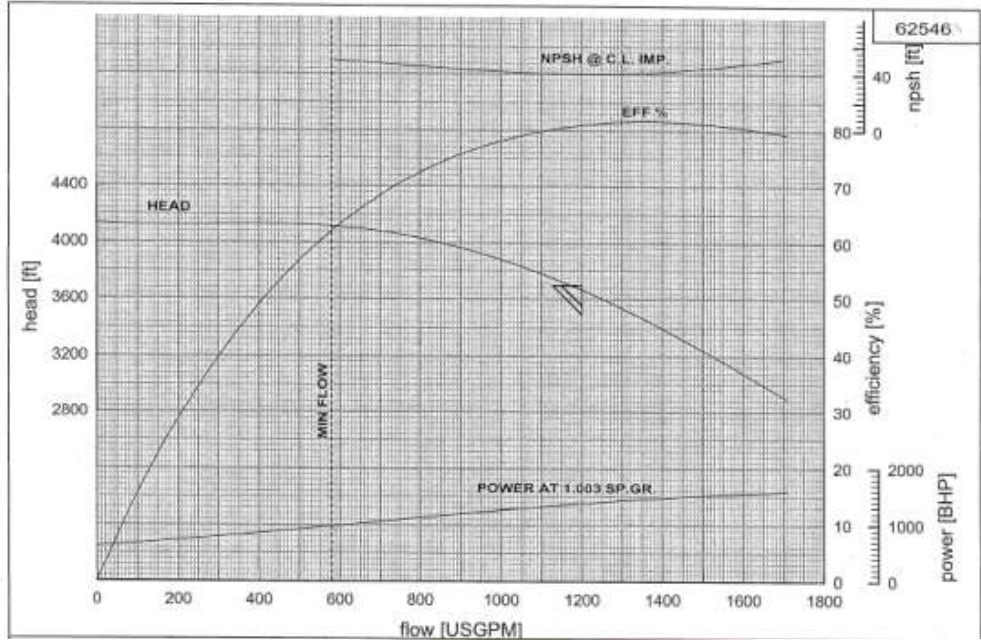
Fuente: Autor Bloque 16 Repsol

Dentro de los Center Lines se realiza las curvas en forma dinámica para que los operadores puedan determinar rápidamente el punto de operación de cada una de ellas, y así normar los rangos operativos de cada una de ellas con el fin de no tener sobrecargas en bombas perdidas de productividad por alta temperatura en generación y mejora de la productividad.

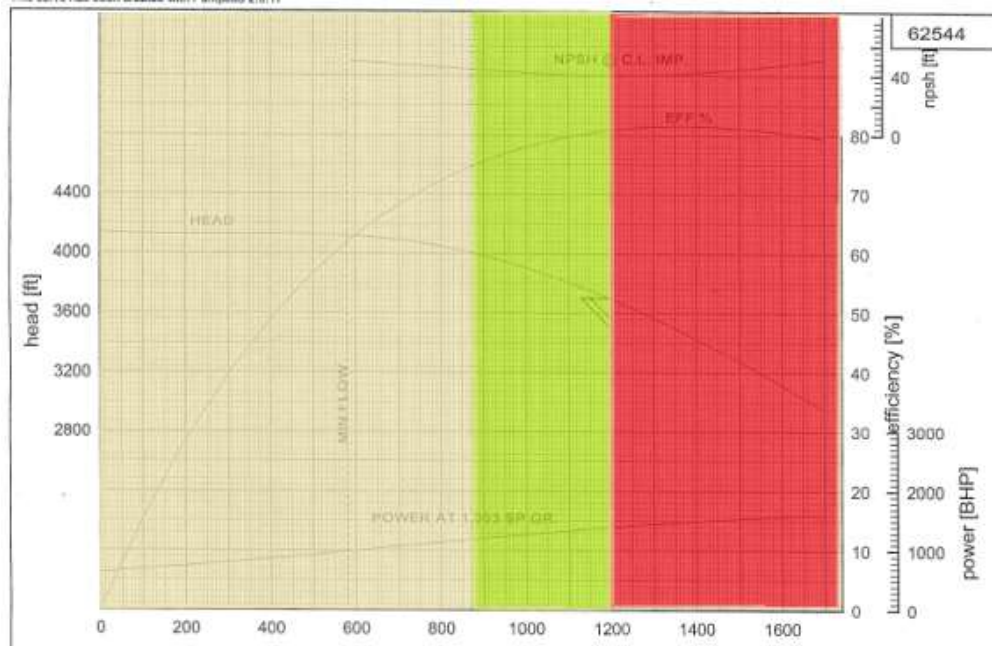
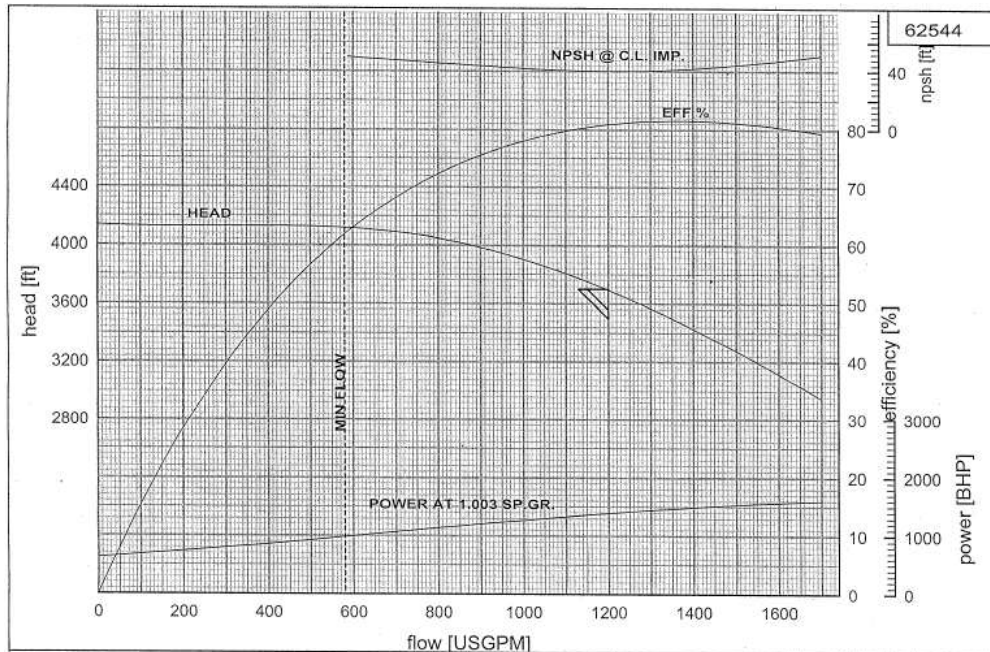
4.4.4 Curvas de operación bombas centrífugas Capirón A-18:M1 Tag: P1079F.



4.4.5 Curvas de operación bombas centrífugas Bogi 1UWD Tag: P1079 C.



4.4.6 Curvas de operación bombas centrífugas Tivacuno A2WD Tag: P1079D



4.4.7 Análisis del punto de operación de Bombas Centrífugas de 1500 Hp.

Actualmente se dispone de una planta de destilación de diésel (Planta Topping) la misma que suministra el combustible que necesitan las turbinas para su operación. La Planta Topping actualmente trabaja con los datos operativos que se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Producción Planta Topping

PRODUCCIÓN DIÉSEL PLANTA TOPPING	
Producción BPD	1.601,00
Transferido BPD	1.605,64
Carga BPD	6.995,20
Grado API de carga	17,40
Residuo BPD	5.228,52
Grado API del Residuo	9,70
Consumo de diésel	0,00

Fuente: Datos de Producción Planta Topping, Repsol 2013

En donde para producir 1.601 BPD de diésel se necesitan 6.995 BPD de crudo con un residuo de 5.228 BPD. Este residuo es re-procesado y mezclado con el crudo extraído.

Se puede decir entonces que aproximadamente 1 barril de diésel producido en la Planta Topping corresponde del empleo de 1 barril de crudo extraído, siendo así su costo de producción el del precio internacional del crudo (se ha asumido un precio de \$40 por barril de crudo).

se estableció la Línea Base de las turbinas y se determinó el factor de 47 BBLS/MW.

Lo que nos quiere decir que:

$$47 \frac{BBLS}{MW} * \$40$$

El precio por generar 1 MW al día con las turbinas LM2500 de Repsol es:

\$1.880

Este valor traduciéndolo a un año de trabajo es:

\$ 686.200

Una bomba de 1500 Hp equivale a **1118,55 kW** por lo tanto del parque de generación absorberá **1118,55 kW**, realizando una analogía de consumo tenemos en la tabla 4.3 la descripción de cada potencia y consumo necesarios.

Tabla 4.3 Analogía potencia y consumo

1 MW =1000kW	1 Barril diesel	1 barril crudo
1500HP=1118,55 kW	1,118 Barril diesel	1,118 Barril crudo

Fuente: Datos de producción, Repsol 2013

Por lo tanto, mantener en línea bomba de 1500 Hp cuesta: **2102,87 Usd/día.**

Este valor traduciéndolo a un año de trabajo es: **\$767547,55**

Para generar plantilla del mejor punto de operación de la bomba se requerirá toma de 3 Variantes para cada costo de producción eso generará el menor costo de operación.

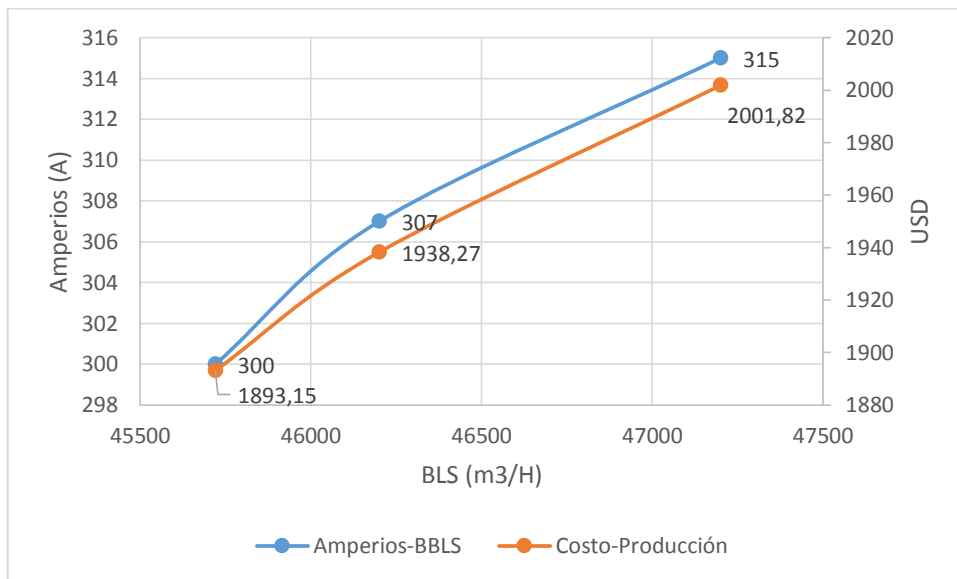
Mediante la analogía antes detalla se tienen los siguientes análisis productivos en cada una de las bombas, siendo una parate vital de ayuda a personal operativo, cada producción con su respectivo consumo económico que da una idea clara de donde está la mejor producción.

4.4.8 Bomba Capirón A-18:M1 Tag: P1079F

En la figura 4.10 se puede apreciar el costo de producción a partir de un valor estimado en donde se toman 3 variantes aleatorias las mismas que ayudan a identificar el costo de producción de la Bomba Capirón A-18:M1, con un

consumo de corriente de 300 A y 45720 BBLs (m³/h) de reinyección tiene un costo de USD 1893,15, en la segunda variante se tiene un consumo de 307 A 46200 BBLs de reinyección y el costo es de 1938,27 USD finalmente la tercera variante se tiene una corriente de consumo de 315 A y 47200 BBLs de reinyección tiene un costo de USD 2001,82.

Figura 4.10 Costo de producción bomba Capirón A-18:M1

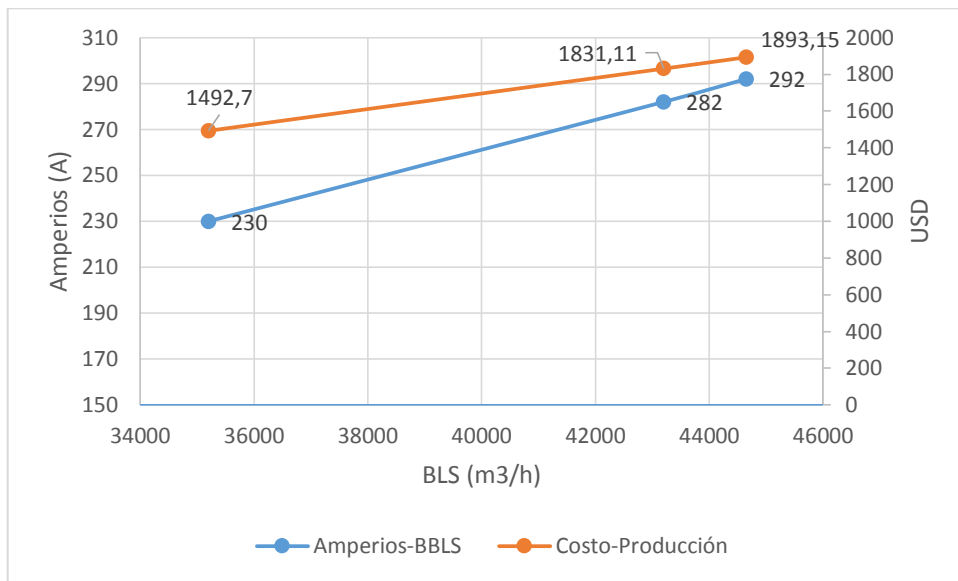


Fuente: Autor, Repsol 2013

4.4.9 Bomba Bogi 1UWD Tag: P1079 C

En la figura 4.11 se puede apreciar el costo de producción a partir de un valor estimado en donde se toman 3 variantes aleatorias las mismas que ayudan a identificar el costo de producción de la Bomba Bogi 1UWD, con un consumo de corriente de 230 A y 35200 BBLs de reinyección tiene un costo de USD 1492,7, en la segunda variante se tiene un consumo de 282 A 43200 BBLs de reinyección y el costo es de 1831,11 USD finalmente la tercera variante se tiene una corriente de consumo de 292 A y 44650 BBLs de reinyección tiene un costo de USD 1893,15.

Figura 4.11 Costo de producción bomba Bogi 1UWD

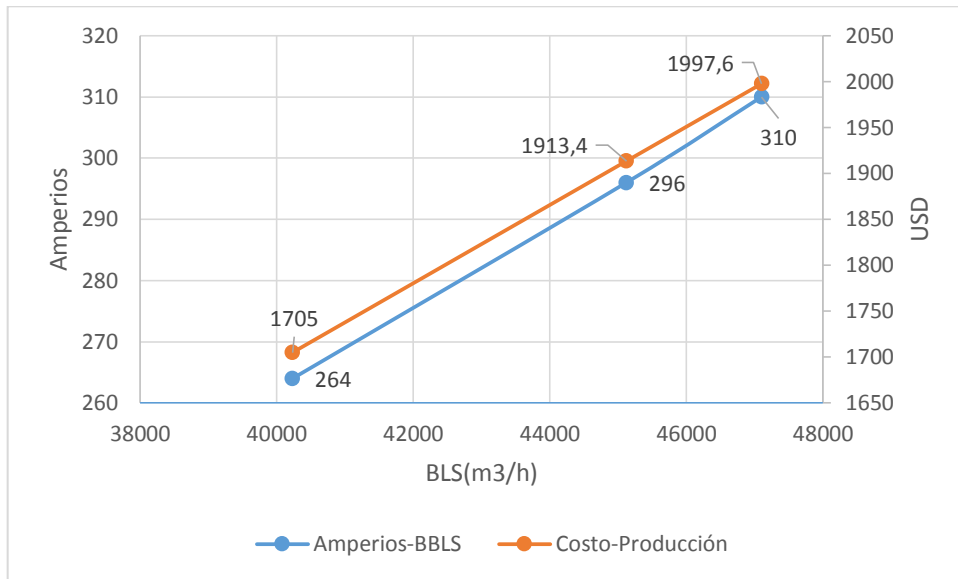


Fuente: Autor, Repsol 2013

4.4.10 Tivacuno A2WD Tag: P1079 D

En la figura 4.12 se puede apreciar el costo de producción a partir de un valor estimado en donde se toman 3 variantes aleatorias las mismas que ayudan a identificar el costo de producción de la Bomba Tivacuno A2WD, con un consumo de corriente de 264 A y 40230 BBLS de reinyección tiene un costo de USD 1705, en la segunda variante se tiene un consumo de 296 A 45120 BBLS de reinyección y el costo es de 1913,4 USD finalmente la tercera variante se tiene una corriente de consumo de 310 A y 47100 BBLS de reinyección tiene un costo de USD 1997,6.

Figura 4.12 Costo de producción bomba Tivacuno A2WD



Fuente: Autor, Repsol 2013

4.4.11 Análisis Económico

El análisis económico para la propuesta del diagnóstico energético que permita optimizar la producción de las bombas centrífugas de 1500HP está enfocado en buscar alternativas que permitan el buen uso de la energía y el aprovechamiento al máximo de fuentes de energía actuales las mismas que se van agotando día a día; esto implica el alto costo de generación y de producción siendo este reflejado en el costo final del producto entregado al consumidor.

Como se mencionó en el Capítulo III, en la tabla 3.5, se determinó lograr optimizar la producción con la implementación de variadores de velocidad en bombas Booster, en donde los datos que bordean aproximadamente 8 meses partiendo desde el mes de mayo hasta el mes de diciembre existe un ahorro estimado de 38.087,79USD. En la tabla 4.3 se observa el costo total de instalación de un sistema nuevo de variador de frecuencia.

Tabla 4.3 Análisis Económico

ITEM	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO EN USD
Drive SINAMICS G120	1	13.205,35	13.205,35
CCM	1	4500	4500
Cableado	1	1200	1200
Montaje y programación	1	4017,85	4.017,85
		SUBTOTAL:	2.2923,2
		IVA 12%	2.750,784
		TOTAL:	25.673,984

Fuente: Autor, Repsol 2013

Este costo es referencial y está realizado para una bomba Booster, el objetivo es que las 4 bombas Booster tengan su respectivo drive.

Para este caso específico la inversión para el arranque de la bomba será de USD 25673,984, siendo en el período de 8 meses un valor de ahorro por energía de USD 38.087,79.

4.5 Verificación de la hipótesis

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

¿La determinación de los parámetros de operación y el consumo de energía en las bombas centrífugas de 1500HP de Repsol, permitirá diseñar un esquema de gestión continua que garantice la optimización de la producción?

En la presente investigación se determinó que uno de los aspectos que permite optimizar la producción es la de colocar variadores de velocidad en las bombas Booster esto nos ayudará a potenciar el ahorro y a eliminar malas prácticas operativas.

Así también las herramientas que nos ayudarán a controlar eficiencias y mantener el mejor orden de Operación serán:

- Center Line de Máquinas.
- Rutas preventivas en Termografías y Análisis Vibracional.
- Generación de datos para puntos de operación y rendimiento.

Esto con el fin de mantener un mantenimiento Preventivo que no cause caídas de Producción, pérdidas y ponga en riesgo personas y equipos.

Luego de estos fundamentos la hipótesis planteada a inicio de la investigación ha sido comprobada debido a que se han analizado los problemas causantes de caídas de producción, y se han encontrado las mejores soluciones para mejorar, optimizar y controlar la producción.

CONCLUSIONES

- Se realizó una evaluación energética en bombas de 1500HP del Bloque 16 de Repsol donde inicia con el proceso de extracción de crudo pasando por varios procesos de separación hasta encontrar nuestro mayor consumidor de energía en el cual los 900.000 BLS de agua son necesarios reinyectarlos con la mayor eficiencia debido al alto consumo de energía generada 95Mwats.
- Se realizó la verificación de parámetros de operación de bombas centrífugas de 1500HP, mediante datos de fabricante y datos operativos que permitió el diseño de Center Line para lograr las mejores prácticas operativas.
- Con la implementación de un mantenimiento predictivo seguro y confiable se puede mantener el sistema de bombeo operativo sin tener pérdidas por recalientamiento y fallas.
- Con la implementación de Controladores de Velocidad se puede tener un ahorro de energía promedio de 30.000KW/mes lo que garantiza una optimización de energía orientada a la producción.
- Con la creación de plantillas de parámetros bombas Centrífugas se puede archivar información operativa donde con un análisis estadísticos se logra determinar el comportamiento de cada bomba analizada.
- Con la creación de Center Line de Bombas se puede controlar la variación de reinyección en cada turno operativo, ya se dispone de planillas donde resalta el mejor punto de operación de cada bomba con esto se puede tener un estandar operativo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio energético de bombas de 3000 HP debido a su alto consumo energético el mismo que puede ser controlado mediante la implementación de un plan de medidas.
- Es necesario realizar un estudio energético de bombas centrífugas en el SPF y Amo debido a la alta demanda de energía y la alta producción de agua Bloque 16 de Repsol.
- Al fin de lograr un óptimo proceso de control de producción alta eficiencia en reinyección y disminuir el consumo energético necesariamente se debe contemplar la propuesta de incorporar Variadores de frecuencia en las 4 Bombas de agua Booster en el NPF.
- Se recomienda hacer uso de plantillas energéticas creadas con el fin de tener históricos, tendencias de operación de bombas centrífugas de 1500 HP, para con esto determinar exactamente donde pudo producirse un evento el cual se está volviendo crítico en el tiempo.
- Es importante el cumplimiento de la presente propuesta y plan de medidas con el involucramiento de todas las áreas participantes como Operadores, Técnicos eléctricos, Técnicos instrumentistas, Cordinadores y Jefes de cada área.
- Se recomienda se realice un análisis de frecuencia de mantenimiento preventivo mas compacto en bombas Booster ya que no se dispone de fechas especiales para cada revisión preventiva.

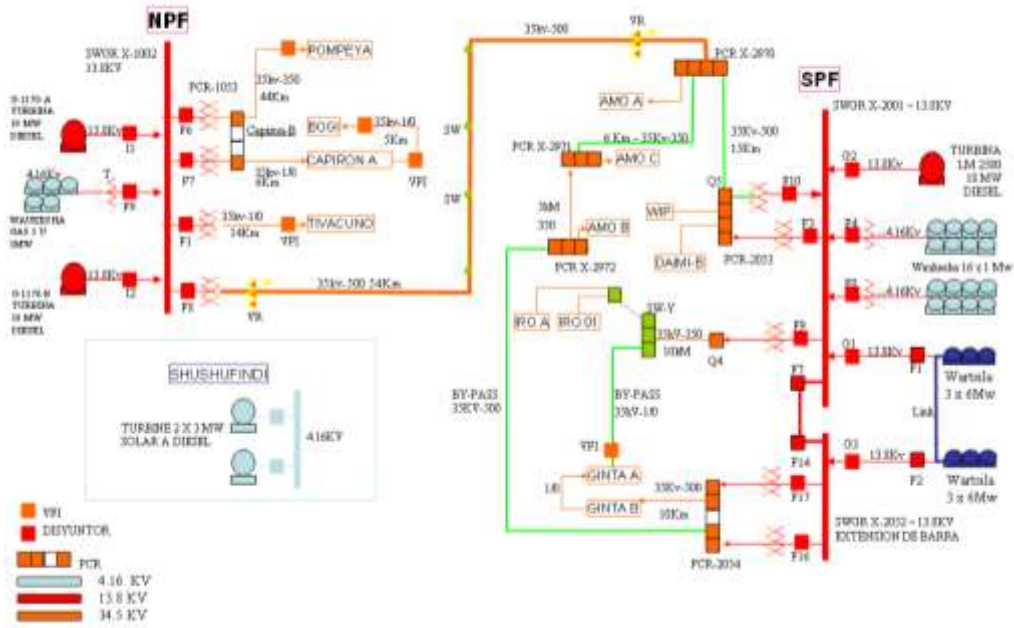
BIBLIOGRAFÍA

- Handbook of Electric Motors. Hamid A. Toliyat y Gerald B. Kliman. CRC Press.
- Bombas Centrifugas - Selección, Operación y Mantenimiento, I. Karassik, R. Carter, Editorial C.E.C.S.A., Febrero 1980.
- Accionamientos Eléctricos, Tomo I y II. Jose María Merino Azcárraga.
- **Fraile Mora, J.** “MAQUINAS ELÉCTRICAS”. Editorial McGrawHill. 2003
- Eficiencia Energética Eléctrica. TOMO IV. J. María Merino. Editorial URMO SA. ISBN-13: 978-84-314-0488-8.
- Eficiencia Energética Eléctrica. TOMO IV. J. María Merino. Editorial URMO SA. ISBN-13: 978-84-314-0488-8.
- Guía de Termografía para mantenimiento predictivo, sitio Web www.flir.com
- GM OBB Primera empresa del ecuador en obtener la certificación ISO 50001;
<http://media.gm.com/media/ec/es/chevrolet/news.detail.html/content/Pages/news/ec/es/2014/oct/1022-iso-50001.html> • Win the energy challenge with ISO 50001; Organización Internacional de Normalización; 2011
- La ISO 50001 permite a las empresas un control de calidad en la gestión de la eficiencia energética, <http://www.ipsom.com/2012/01/la-iso-50001-permite-a-las-empresas-uncontrol-de-calidad-en-la-gestion-de-la-eficiencia-energetica/>
- Viejo Zubicaray M., “Bombas, teoría, diseño y aplicaciones”, Editorial LIMUSA
- Karassik I., Carter R. , “Bombas Centrífugas, Selección, Operación y Mantenimiento”, Compañía Editorial Continental, México, 1966.
- "Curvas Características de Sistemas de Bombeo", C. Aguerre, U.N.L.P., La Plata, 1986

ANEXOS



BLOQUE 16 – SISTEMA ENERGIA



ANEXO N° 3	DECRETO N° 1048 INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES	Página 1 de 3
-------------------	--	----------------------

**DECRETO No. 1048
(SE CREA EL INSTITUTO NACIONAL DE
EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS
RENOVABLES, COMO ENTIDAD ADSCRITA AL
MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA
RENOVABLE)**

Rafael Correa Delgado
PRESIDENTE CONSTITUCIONAL DE LA REPÚBLICA

Considerando:

Que el artículo 387, número 2 de la Constitución de la República del Ecuador establece que es responsabilidad del Estado promover la generación y producción de conocimiento, fomentar la investigación científica y tecnológica para así contribuir a la realización del buen vivir, al "Sumak Kawsay";

Que el artículo 388 de la Constitución de la República del Ecuador dispone que el Estado debe destinar los recursos necesarios para la investigación científica, el desarrollo tecnológico, la innovación, la formación científica;

Que por disposición de los artículos 15 y 413 de la Constitución de la República del Ecuador es responsabilidad del Estado promover la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas tecnológicas, diversificadas, no contaminantes, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua;

Que el Plan Nacional del Buen Vivir 2009 - 2013, publicado en el Suplemento del Registro Oficial 144 de 5 de marzo del 2010, en su Política 4.3 dispone diversificar la matriz energética nacional, promoviendo la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles;

Que el aprovechamiento de las energías renovables y el uso eficiente de la energía en todas sus formas requiere un gran esfuerzo para su ejecución y una adecuada coordinación entre diversos actores del sector público y participación activa de todos los sectores sociales y privados;

Que para cumplir con los objetivos de competitividad de las políticas económicas es necesario adoptar acciones tendentes a la reducción de costos, mediante la eficiencia energética o reduciendo la dependencia del petróleo y sus derivados, diversificando las fuentes de suministro;

Que se hace necesaria la sensibilización, concienciación y adopción de medidas que permitan reducir la intensidad energética sin merma de la calidad de los servicios básicos, ni de la satisfacción de las necesidades de los ciudadanos y ciudadanas;

Que el uso y aplicación de las energías renovables constituye uno de los mayores desafíos para el Ecuador ya que su desarrollo y aplicación contribuirán a cumplir los objetivos de disminución del déficit energético, uso de energías contaminantes y una notable mejora del medio ambiente;

Que el conjunto de estas acciones viene acompañado de una actividad económica y tecnológica que ayuda al desarrollo económico y social sostenible, creando nuevas oportunidades y fuentes de trabajo técnico en sectores de considerable proyección;

ANEXO N° 3	DECRETO N° 1048 INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES	Página 2 de 3
------------	--	---------------

Que mediante oficio No. MINFIN-DM-2011-0120 de 1 de junio del 2011, el Ministerio de Finanzas expidió el correspondiente dictamen favorable previo; y,

En ejercicio de las facultades y atribuciones que le confiere el artículo 147, números 5 y 6 de la Constitución de la República del Ecuador,

Decreta:

Art. 1.- Creación.- Créase el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, como entidad adscrita al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, que para efectos de su gestión actuará con independencia administrativa, técnica, operativa y financiera.

Art. 2.- Objeto.- El Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables tendrá por objeto fomentar:

1. La investigación científica y tecnológica.
2. La innovación y formación científica.
3. La difusión del conocimiento.
4. La eficiencia energética.
5. El desarrollo y uso de prácticas tecnológicas no contaminantes, de bajo impacto.
6. La diversificación de la matriz energética nacional, promoviendo la eficiencia.
7. Una mayor participación de energías renovables sostenibles.

Art. 3.- Funciones y facultades.- El Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, tendrá entre otras, las siguientes funciones y facultades:

1. Desarrollar y ejecutar planes, programas, proyectos y actividades de investigación para la innovación tecnológica, en el ámbito de la eficiencia energética y la generación basada en energías renovables y no renovables.
2. Investigar y difundir los procedimientos, tecnologías y equipamiento más eficiente en el campo de la producción, transmisión, distribución y uso eficiente de la energía, así como promover las mejores prácticas nacionales e internacionales en el campo de la eficiencia energética y energías renovables.
3. Coordinar, ejecutar y evaluar planes, programas y proyectos de eficiencia energética y energía renovable a ser aplicados en los distintos sectores de consumo energético, con la finalidad de hacer eficiente el uso de la energía y diversificar las fuentes de suministro.
4. Contribuir a la implementación de metodologías, procedimientos y tecnologías que aporten al desarrollo socioeconómico de forma sostenible a través del uso eficiente de la energía y aprovechamiento de las energías renovables.
5. Impartir y difundir conocimientos especializados en ciencia y tecnología relacionados con el sector energético, en colaboración con los centros de formación e investigación de ámbito universitario y profesional.
6. Integrar la información energética del país, proporcionada por los diversos actores como herramienta de apoyo para la toma de decisiones.
7. Las demás que le confiera la ley o le asigne el Directorio en el marco de sus competencias.

Art. 4.- Del Directorio.- (Sustituido por el Art. Único del D. E. 424, R.O. 330, 10-IX-2014).- El Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables contará con un Directorio Integrado por:

1. El Ministro de Electricidad y Energía Renovable, o su delegado permanente, quien lo presidirá;
2. El Secretario Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, o su delegado, permanente; y,
3. El Secretario Técnico del Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, como delegado del Presidente Constitucional de la República.

ANEXO N° 3	DECRETO N° 1048 INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES	Página 3 de 3
-------------------	--	----------------------

El Director Ejecutivo del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables se desempeñará como secretario del Directorio y tendrá únicamente voz informativa.

El Directorio podrá contar con otros miembros adjuntos que intervendrán con voz y sin voto.”

Art. 5.- **Atribuciones del Directorio.**- El Directorio tendrá como atribuciones fundamentales:

1. Validar las políticas, planes, programas, proyectos, normativas y demás actuaciones que resulten de las investigaciones, análisis y estudios que realice el instituto.
2. Aprobar la estructura organizacional del instituto.
3. Conocer y aprobar los planes y programación anual y plurianual que presente el Director Ejecutivo.
4. Otras que se determinen en la ley y la normativa aplicable.

Art. 6.- **Del Presidente del Directorio.**- El Directorio contará con un Presidente que será el Ministro de Electricidad y Energía Renovable o su delegado.

Son atribuciones del Presidente:

1. Dirigir las sesiones del Directorio.
2. Proponer el orden del día para las sesiones del Directorio del instituto y disponer la difusión a sus miembros, por lo menos con veinte y cuatro horas de anticipación y legalizar con su firma el Libro de Actas de Sesiones.
3. Convocar, instalar, suspender, clausurar las sesiones ordinarias y extraordinarias del Directorio.
4. Presentar a la Presidencia de la República el informe anual sobre las actividades desarrolladas por el instituto en el que constará una evaluación de los resultados obtenidos.
5. Las demás que le confiera la ley o la normativa interna del instituto.

Art. 7.- **De Director Ejecutivo.**- El Director Ejecutivo será designado por el Ministro de Electricidad y Energía Renovable y ejercerá la representación legal, judicial y extra judicial del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.

Para ser designado Director Ejecutivo se requerirá:

1. Acreditar título de cuarto nivel en áreas relacionadas a los sectores energéticos.
2. Acreditar experiencia específica de por lo menos 5 años en el sector energético, energías renovables o eficiencia energética.

El Director Ejecutivo ejercerá estará facultado para realizar todos los actos y celebrar todos los contratos que sean necesarios para el cumplimiento de las funciones encomendadas al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables y demás que consten en la reglamentación interna.

DISPOSICIÓN DEROGATORIA

Deróguense todas las disposiciones e instrumentos jurídicos de igual o menor jerarquía que se opongan al presente decreto. De manera particular se deroga el Decreto Ejecutivo No. 316, publicado en el Registro Oficial No. 90 del 23 de mayo del 2007.

DISPOSICIÓN FINAL

De la ejecución del presente decreto, que entrará en vigencia a partir de la publicación en el Registro Oficial, encárguese al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable y al Ministerio de Finanzas.

Dado en el Palacio Nacional, en Quito, 10 de febrero del 2012.

Technical note IEC 60034-30-1 standard on efficiency classes for low voltage AC motors

Standard IEC/EN 60034-30-1 on efficiency classes of line operated AC motors was published by the International Electrotechnical Commission (IEC) on March 6, 2014. This IEC standard is concerned with the global harmonization of energy efficiency classes for electric motors. Compared with IEC/EN 60034-30: 2008, it significantly expands the range of products covered with the inclusion of 8-pole motors and introduces IE4 efficiency performance class for electric motors. All technical constructions of motors are covered as long as they are rated for direct on-line operation. Whereas the previous edition covered only three-phase products, the new standard also includes single-phase motors, as well as line-start permanent magnet motors.

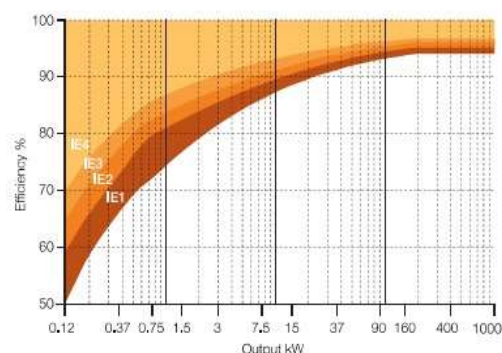


What are the efficiency classes defined by IEC/EN 60034-30-1: 2014?

The standard defines four IE (International Efficiency) efficiency classes for single speed electric motors that are rated according to IEC 60034-1 or IEC 60079-0 (explosive atmospheres) and designed for operation on sinusoidal voltage.

Super-Premium efficiency	IE4
Premium efficiency	IE3
High efficiency	IE2
Standard efficiency	IE1

IE efficiency classes for 4 pole motors at 50 Hz



An IE5 level is envisaged for a future revision, with the goal of further reducing losses by some 20% relative to IE4.

What motors are covered by the standard?

The new standard covers a wider scope of products. The power range has been expanded to cover motors from 120 W to 1000 kW. All technical constructions of electric motors are covered as long as they are rated for direct on-line operation. The coverage of the new standard includes:

- Single speed electric motors (single and three phase), 50 and 60 Hz
- 2, 4, 6 or 8 poles
- Rated output P_N from 0.12 kW to 1000 kW
- Rated voltage U_N above 50 V up to 1 kV
- Motors, capable of continuous operation at their rated power with a temperature rise within the specified insulation temperature class
- Motors, marked with any ambient temperature within the range of $-20\text{ }^\circ\text{C}$ to $+60\text{ }^\circ\text{C}$
- Motors, marked with an altitude up to 4000 m above sea level

The following motors are excluded from IEC/EN 60034-30-1

- Single-speed motors with 10 or more poles or multi-speed motors
- Motors completely integrated into a machine (for example, pump, fan or compressor) that cannot be tested separately from the machine.
- Brake motors, when the brake can not be dismantled or separately fed.

What is the classification based on?

The efficiency levels defined in IEC/EN 60034-30-1 are based on the low uncertainty test methods specified in IEC 60034-2-1, which has been updated to edition 2.0, 2014-06.

ANEXO N° 5	NORMA INTERNACIONAL ISO 18434-1 TERMOGRAFÍA	Página 1 de 2
------------	--	---------------

INTERNATIONAL
STANDARD

ISO
18434-1

First edition
2008-03-01

**Condition monitoring and diagnostics of
machines — Thermography —**

**Part 1:
General procedures**

*Surveillance et diagnostic de l'état des machines — Thermographie —
Partie 1: Procédures générales*

This is a free B page sample. Access the full version online.



Reference number
ISO 18434-1:2008(E)

© ISO 2008

ISO 18434-1:2008(E)

Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

International Standards are drafted in accordance with the rules given in the ISO/IEC Directives, Part 2.

The main task of technical committees is to prepare International Standards. Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for voting. Publication as an International Standard requires approval by at least 75 % of the member bodies casting a vote.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. ISO shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

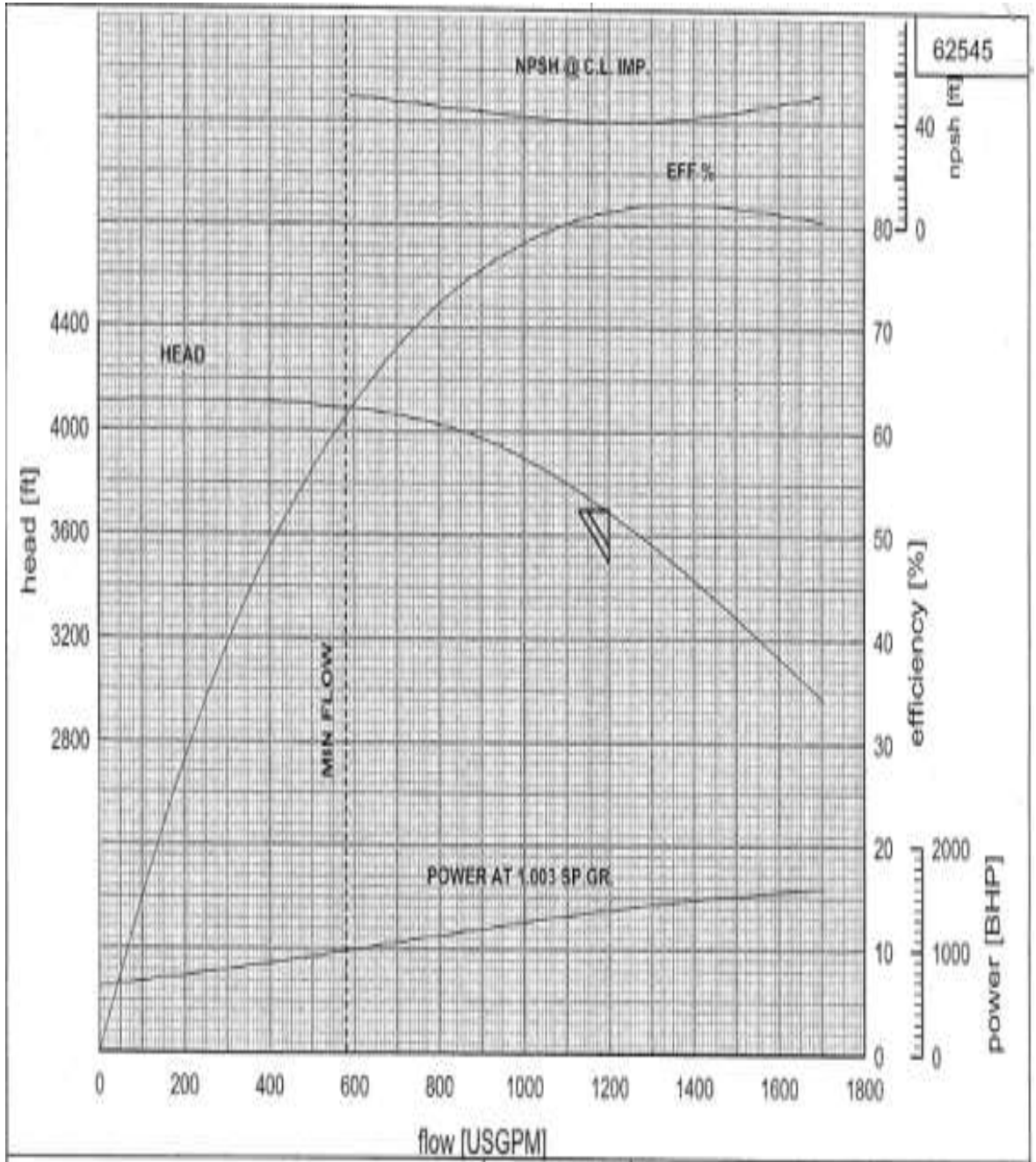
ISO 18434-1 was prepared by Technical Committee ISO/TC 108, Mechanical vibration, shock and condition monitoring, Subcommittee SC 5, Condition monitoring and diagnostics of machines.

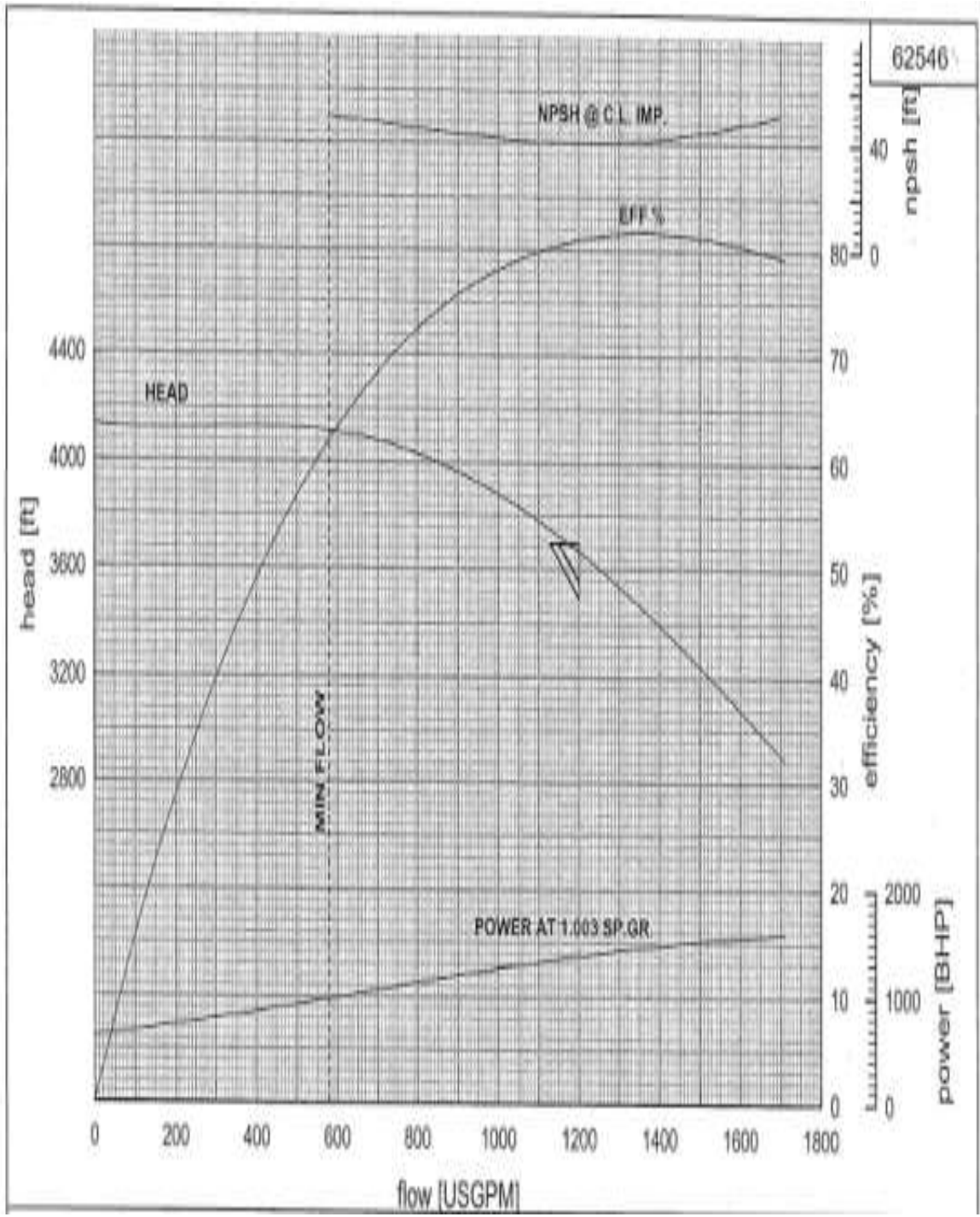
ISO 18434 consists of the following parts, under the general title *Condition monitoring and diagnostics of machines — Thermography*:

— Part 1: *General procedures*

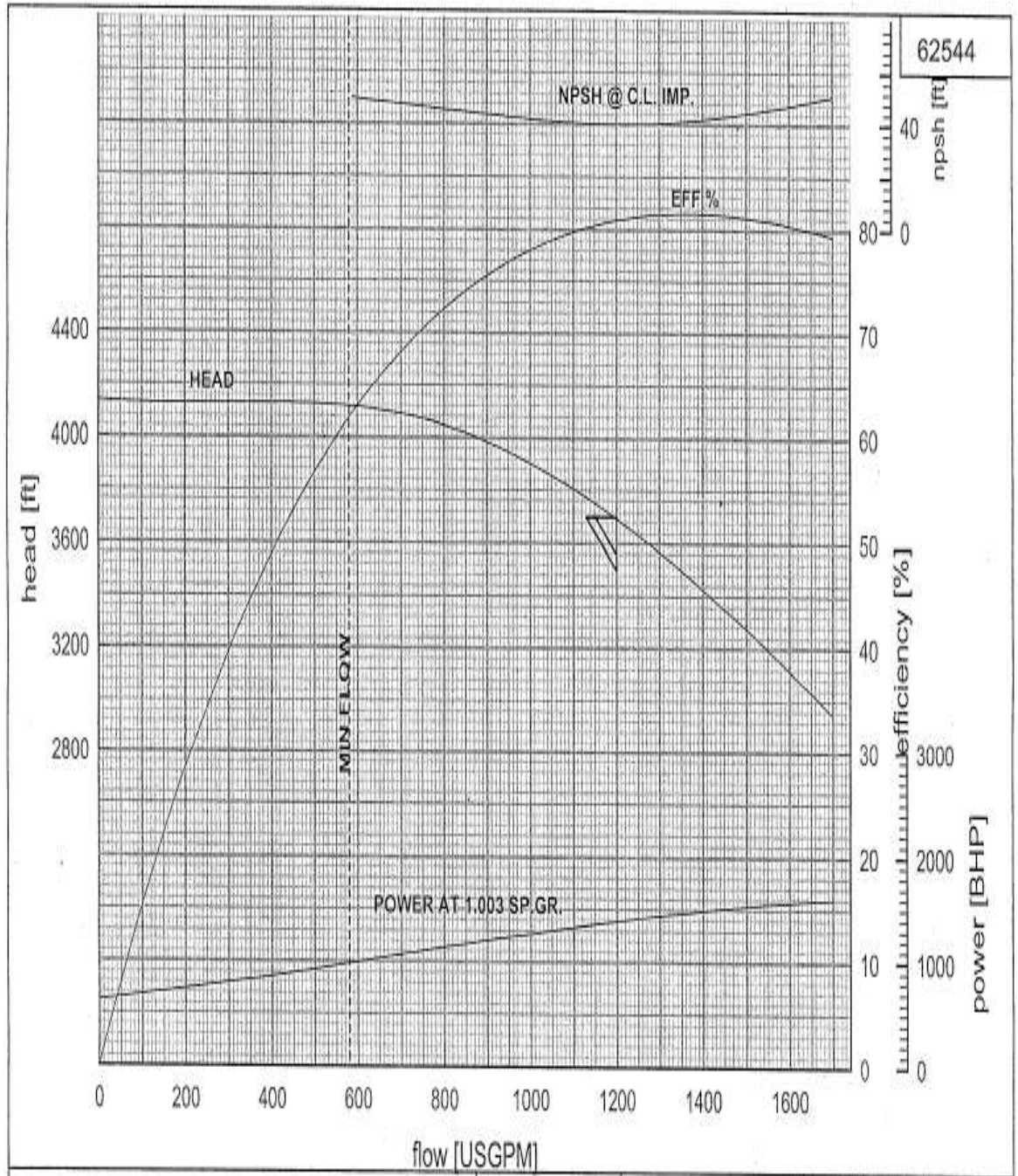
Image interpretation and diagnostics is to form the subject of a future Part 2.

ANEXO N° 6	<p style="text-align: center;">CURVA RENDIMIENTO BOMBA CENTRIFUGAS CAPIRÓN A-18:M1- P1079F</p>	Página 1 de 1
------------	---	---------------





ANEXO N° 8	<p style="text-align: center;">CURVA RENDIMIENTO BOMBA CENTRIFUGAS TIVACUNO A2WD- P1079D</p>	Página 1 de 1
------------	---	---------------



ANEXO N° 9	DATOS REINYECCION DE AGU Y SU EFICIENCIA EN BOMBAS CENTRIFUGAS TIVACUNO A2WD- P1079D	Página 1de 1
-------------------	---	---------------------

Mes	Reinyección BPD	Eficiencia
1-enero-2013	45120	70,95
1-febrero-2013	45200	71,1
1-marzo-2013	45230	71,14
1-abril-2013	45130	70,98
1-mayo-2013	45200	71
1-junio-2013	45112	70,86
1-julio-2013	40230	63,19
1-agosto-2013	46200	72,6
1-septiembre-2013	46500	70,32
1-octubre-2013	46120	69,74
1-noviembre-2013	47000	71,1
1-diciembre-2013	47100	72

ANEXO N° 10	DATOS REINYECCION DE AGUA Y SU EFICIENCIA EN BOMBAS CENTRIFUGAS BOGI 1UWD -P1079C	Página 1de 1
--------------------	--	---------------------

Mes	Reinyección BPD	Eficiencia
1-enero-2013	35100	55,2
1-febrero-2013	35200	55,25
1-marzo-2013	35250	55,4
1-abril-2013	38020	59,75
1-mayo-2013	41200	64,74
1-junio-2013	43000	67,5
1-julio-2013	43200	67,81
1-agosto-2013	44000	69,09
1-septiembre-2013	44500	69,87
1-octubre-2013	44500	69,87
1-noviembre-2013	44600	70,1
1-diciembre-2013	44650	70,17

ANEXO N° 11	DATOS REINYECCION DE AGU Y SU EFICIENCIA EN BOMBAS CENTRIFUGAS CENTRIFUGAS CAPIRÓN A-18:M1 -P1079F	Página 1de 1
Mes	Reinyección BPD	Eficiencia
1-enero-2013	44000	76,14
1-febrero-2013	44300	76,66
1-marzo-2013	44500	77,01
1-abril-2013	44200	76,49
1-mayo-2013	44000	76,14
1-junio-2013	44550	77,09
1-julio-2013	45000	77,87
1-agosto-2013	44900	77,77
1-septiembre-2013	44670	77,3
1-octubre-2013	44710	77,37
1-noviembre-2013	44800	77,53
1-diciembre-2013	44000	76,14

