



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“AUDITORÍA ENERGÉTICA DE LA ESTACIÓN  
DE BOMBEO DE ESMERALDAS DEL  
POLIDUCTO ESMERALDAS-QUITO”**

**BROWN ESPINOZA DAMIAN ANTONIO  
CHARCOPA CAICEDO RICARDO JOSÉ**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:  
**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2009**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Damian Brown Espinoza

---

Ricardo Charcopa Caicedo

---

Ing. Gilberto Zabala N.

---

Ing. Iván Cantos C.

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas de mejor provecho a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

**Damian Brown Espinoza**

**Ricardo Charcopa Caicedo**

## **DEDICATORIA:**

Este trabajo se lo dedico a todas aquellas personas que me han ayudado en mis estudios, pero especialmente a mis padres, tíos, hermanos y amigos que siempre han estado pendientes para apoyarme y dándome aliento para continuar y terminar los mismos.

Ricardo Charcopa Caicedo

Por los que me apoyaron para poder llegar hasta este punto, es decir, a todo el conjunto que me ha rodeado desde que empecé, comenzando por mi familia y amigos hasta la señora de la tienda que confiaba en la devolución del crédito.

Damian Brown Espinoza

## TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>		<u>PÁGINA</u>
<b>1.</b>	<b>GENERALIDADES</b>	
1.1	Antecedentes.....	21
1.2	Justificación.....	21
1.3	Justificación Técnico-Económica.....	21
1.4	Objetivos.....	22
1.4.1	Objetivo General.....	22
1.4.2	Objetivos Específicos.....	22
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1	Sistema de distribución eléctrica.....	23
2.1.1.	Generación y Transporte de Electricidad.....	23
2.1.2.	Transformadores.....	23
2.2.	Sistema de Potencia Térmica.....	24
2.2.1.	Motores de combustión Interna (MCI).....	25
2.2.2.	Caja de velocidades.....	27
2.3.	Sistema de Potencia Eléctrica.....	29
2.3.1.	Eficiencia del motor eléctrico.....	30
2.4.	Sistema de aire comprimido.....	32
2.4.1.	Determinación de fugas.....	32
2.5.	Sistema de bombeo.....	34
2.5.1.	Eficiencia de la bomba.....	34
2.5.2.	Oportunidades de ahorro en los equipos de bombeo.....	35
2.6.	Consumo energético en edificaciones.....	37
2.6.1.	Sistema de iluminación.....	38
2.6.2.	Sistema de aire acondicionado.....	38
<b>3.</b>	<b>EVALUACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA DEL CONSUMO ENERGÉTICO</b>	
3.1.	Descripción de la planta.....	39
3.1.1.	Tanques de almacenamiento.....	40
3.1.2.	Subestación eléctrica.....	41
3.1.3.	Grupo motobomba eléctrico (Sistema A).....	43
3.1.4.	Grupos motobomba a diesel (Sistema B).....	43
3.1.5.	Sistema de tuberías Esmeraldas-Santo Domingo.....	45
3.1.6.	Sistema de aire comprimido.....	45
3.2.	Determinación de la información necesaria para el diagnóstico.....	46
3.3.	Selección de unidades, áreas y equipos a diagnosticar.....	47
3.4.	Planeación de los recursos y el tiempo.....	47
3.5.	Revisión metrológica en los lugares claves a diagnosticar.....	49
3.6.	Recopilación de la información.....	55
3.6.1.	Distribución de la carga anual entre los Sistemas A y B.....	55
3.6.2.	Diagrama de Pareto de los costos de toda la planta por portador energético.....	56
3.6.3.	Control de consumo.....	57
3.6.4.	Producción.....	57
3.6.5.	Producción Vs Consumo.....	59
3.6.6.	Control de caudal.....	59
3.6.7.	Estratificación de consumos por equipos.....	60
3.6.8.	Paradas.....	61
3.6.9.	Registro de mantenimiento.....	61
3.6.10.	Fallas o averías.....	64
3.6.11.	Observaciones en cuanto a cultura de ahorro.....	64
3.7.	Elaboración del plan de mediciones.....	64

3.8.	Mediciones de campo.....	66
<b>4.</b>	<b>DETERMINACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, PÉRDIDAS Y DESPILFARROS DE ENERGÍA EN EQUIPOS Y PROCESOS</b>	
4.1.	Sistema de abastecimiento eléctrico.....	76
4.2.	Sistemas de potencia.....	76
4.2.1.	Sistema de potencia eléctrico.....	77
4.2.2.	Sistema de potencia térmico.....	77
4.3.	Sistema de aire comprimido.....	81
4.3.1.	Costo del aire comprimido.....	83
4.4.	Sistemas de bombeo.....	83
4.4.1.	Sistema A.....	83
4.4.2.	Sistema B.....	86
<b>5.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES DE AHORRO ENERGÉTICO Y ECONÓMICO</b>	
5.1.	Sistemas de abastecimiento Eléctrico.....	93
5.2.	Sistemas de potencia.....	94
5.2.1.	Motores eléctricos.....	94
5.2.2.	Motores MWM 440 6k.....	94
5.2.3.	Caja de velocidades.....	95
5.3.	Sistemas de aire comprimido.....	95
5.4.	Sistemas de bombeo.....	95
5.4.1.	Sistema A.....	95
5.4.2.	Sistema B.....	96
5.5.	Tuberías.....	96
5.6.	Edificaciones.....	97
5.7.	Otros aspectos.....	97
5.7.1.	La grafica de Producción Vs Consumo.....	97
<b>6.</b>	<b>ESTABLECIMIENTO DE INDICADORES DE CONTROL Y ESTRATEGIAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	
6.1.	Falla o desabastecimiento Eléctrico.....	98
6.2.	Rendimiento.....	98
6.3.	Emisiones de gases invernadero.....	98
6.4.	Consumo específico de combustible.....	98
6.5.	Consumo específico por kg de aire.....	99
6.6.	Costo por barril bombeado.....	99
6.7.	Consumo en edificaciones.....	99
<b>7.</b>	<b>DEFINICIÓN DE POSIBLES MEDIDAS Y PROYECTOS PARA AHORRAR ENERGÍA Y REDUCIR COSTOS ENERGÉTICOS, EVALUADOS TÉCNICA Y FINANCIERAMENTE</b>	
7.1.	Medida #1.....	100
7.2.	Medida #2.....	103
7.3.	Medida #3.....	106
7.4.	Comparación de propuestas.....	108
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
8.1.	Conclusiones.....	109
8.2.	Recomendaciones.....	111
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
	BIBLIOGRAFÍA.....	114
	LINKOGRAFÍA.....	115



## LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1. NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS PARA CADA TRABAJO ESPECÍFICO.....	38
3.1. DATOS TÉCNICOS DEL CONJUNTO DE TANQUES DE LA ESTACIÓN.....	41
3.2. CRONOGRAMA DE LA REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	48
3.3. CRONOGRAMA DE MEDICIONES.....	49
3.4. MEDICIONES DE CAMPO DE LA SUBESTACIÓN.....	66
3.5. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P101.....	67
3.6. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P102.....	67
3.7. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P103.....	67
3.8. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P104.....	68
3.9. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P107.....	68
3.10. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P108.....	68
3.11. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P109.....	69
3.12. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P110.....	69
3.13. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DE LA BOMBA P110.....	70
3.14. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DE LA BOMBA P109.....	70
3.15. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DE LA BOMBA P108.....	71
3.16. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DE LA BOMBA P107.....	71
3.17. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL COMPRESOR C101.....	72
3.18. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL COMPRESOR C102.....	72
3.19. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL VENTILADOR V-P 101.....	73
3.20. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL VENTILADOR V-P 102.....	73
3.21. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL VENTILADOR V-P 103.....	73
3.22. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA BOMBA P101.....	74
3.23. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA BOMBA P102.....	74
3.24. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA BOMBA.....	74
3.25. MEDICIONES DE CAMPO DE ENCENDIDO Y APAGADO AUTOMÁTICO DEL MOTOR DEL COMPRESOR C 101.....	75
3.26. MEDICIONES DE CAMPO DE LA CAJA DEL MULTIPLICADOR DE LA BOMBA P 101.....	75
3.27. MEDICIONES DE CAMPO DE LA CAJA DEL MULTIPLICADOR DE LA BOMBA P 102.....	75
3.28. MEDICIONES DE CAMPO DE LA CAJA DEL MULTIPLICADOR DE LA BOMBA P 107.....	75
4.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE MOTORES ELÉCTRICOS.....	77
4.2. VALORES DE VARIABLES Y CONSTANTES NECESARIAS PARA CALCULAR LA VELOCIDAD DE GASES DE COMBUSTIÓN.....	79
4.3. VALORES DE PARÁMETROS PARA CALCULAR LA DENSIDAD DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN.....	79
4.4. RESUMEN DE CÁLCULOS PARCIALES PARA CALCULAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	80
4.5. RESULTADOS PROVENIENTES DEL ANÁLISIS DE LOS GASES PRODUCTO DE LA	80



	COMBUSTIÓN.....	
4.6.	EFICIENCIAS Y POTENCIAS EN EL EJE DE LAS BOMBAS MULTITETAPA PRINCIPALES.....	88
4.7.	RESULTADOS DE POTENCIA, EFICIENCIA Y CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE DE LOS MOTORES MWM 440 6K.....	90
7.1.	DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO ECONÓMICO DE LA PROPUESTA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD.....	102
7.2.	RESULTADOS DE LA PROPUESTA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD.....	102
7.3.	CÁLCULO DEL COSTO INICIAL PARA LA PROPUESTA DEL BY-PASS.....	105
7.4.	DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO ECONÓMICO DE LA PROPUESTA DEL BY-PASS.....	106
7.5.	RESULTADOS DE LA PROPUESTA DEL BY-PASS.....	106
7.6.	CÁLCULO DEL COSTO INICIAL PARA LA PROPUESTA DEL BY-PASS.....	107
7.7.	DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO ECONÓMICO DE LA PROPUESTA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD Y EL SISTEMA DE BY-PASS.....	107
7.8.	RESULTADOS DE LA PROPUESTA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD Y EL SISTEMA DE BY-PASS.....	107
7.9.	TABLA DE COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES PROYECTOS.....	108
7.10.	TABLA DE INDICADORES FINANCIERO DE LA PROPUESTA COMBINADA DE VARIADOR Y BY-PASS.....	108

## LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1	Comportamiento Térmico del Calentamiento de la Caja de Velocidades..... 29
2.2	Características Energéticas Principales del Motor Eléctrico..... 30
2.3	Gráfica del Factor de Potencia en Función del Porcentaje de Amperaje y la Potencia en Hp..... 32
2.4	Gráfica del Factor de Compresibilidad..... 33
2.5	Esquema de las Transformaciones Energéticas de una Bomba Centrífuga Acoplada a un Motor Eléctrico..... 34
3.1	Fotografía de los Tanques de Almacenamiento..... 40
3.2	Subestación Eléctrica..... 41
3.3	Modulares de Control y Monitoreo..... 42
3.4	Flujograma del Sistema A..... 43
3.5	Motobomba Eléctrica..... 43
3.6	Diagrama de Flujo de las Motobombas Diesel o Sistema B..... 44
3.7	Grupo Motobomba a Diesel..... 45
3.8	Perfil de la Tubería desde Esmeraldas hasta Santo Domingo..... 45
3.9	Esquema del Sistema de Aire Comprimido de la Estación..... 46
3.10	Foto del galpón dentro del cual se encuentran los grupos de bombeo..... 49
3.11	Bomba multietapa P104..... 50
3.12	Distribuidor..... 50
3.13	Bombas Booster P 109 110..... 51
3.14	Tubería de Descarga de las Bombas Booster..... 51
3.15	Bomba P 104 con Tuberías de Succión y Descarga..... 52
3.16	Tubería de Descarga de la P 104..... 52
3.17	Trampa de Rascadores..... 53
3.18	Punto 00..... 53
3.19	Transformador Principal, 69000 /14000 V..... 54
3.20	Transformador del Variador, 14000/ 2800 V..... 54
3.21	Transformador de baja, 480/ 210 y 120 voltios..... 55
3.22	Distribución de la Carga entre los Sistemas A y B, año 2008..... 56
3.23	Caracterización Energética de la Planta por portador Energético durante el segundo semestre del 2008..... 56
3.24	Consumo Eléctrico Mensual, 2008..... 57
3.25	Comportamiento de la Producción, 2008..... 58
3.26	Producción Anual por Tipo de Combustible..... 58
3.27	Comparación del Consumo de Electricidad con la Producción, 2008..... 59
3.28	Control Mensual del Caudal de Bombeo..... 59
3.29	Consumo por equipo cuando funciona el Sistema A..... 60
3.30	Consumo por equipo cuando funciona el Sistema B..... 60
3.31	Diagrama de Pareto de paradas, 2008..... 61
4.1	Esquema del Sistema A..... 84
4.2	Esquema del Sistema B..... 86
4.3	Esquema de Grupo Motobomba a diesel..... 90
7.1	Recorrido del fluido en el Sistema A..... 101
7.2	Sistema de By-pass propuesto..... 103
7.3	Arreglo para flujómetros..... 104
7.4	Gráfica para la selección del flujómetro..... 104
7.5	Esquema de cómo debe instalarse un sistema con flujómetro tipo turbina..... 105

## LISTA DE ABREVIACIONES

<b>API</b>	American Petroleum Institute
<b>BEP</b>	Best Efficient Point
<b>FP</b>	Factor de Potencia
<b>ISO</b>	International Standard Organization
<b>MWM</b>	Motoren Werke Mannheim
<b>MCI</b>	Motor de Combustión Interna
<b>REE</b>	Refinería Estatal Esmeraldas
<b>SIN</b>	Sistema Nacional Interconectado
<b>VAN</b>	Valor Actual Neto
<b>TIR</b>	Tasa Interna de Retorno
<b>RCB</b>	Relación Costo Beneficio
<b>RBC</b>	Relación Beneficio Costo

## **LISTA DE ANEXOS**

- ANEXO 1:** Diagrama unifilar del sistema eléctrico principal de la estación de bombeo
- ANEXO 2:** Datos técnicos del grupo motobomba eléctrico.
- ANEXO 3:** Datos técnicos del grupo motobomba diesel.
- ANEXO 4:** Tablas para el cálculo financiero de la propuesta del Sistema de By-Pass.
- ANEXO 5:** Lista de instrumentos a emplear en las mediciones y sus características
- ANEXO 6:** Cronograma de actividades de medición en el campo
- ANEXO 7:** Hojas de mediciones del plan de mediciones
- ANEXO 8:** Datos de placa de los equipos
- ANEXO 9:** Consumos de combustible exigidos por la norma ISO 3046 para algunos motores diesel
- ANEXO 10:** Toma de datos de campo de los productos de combustión
- ANEXO 11:** Tiempo de paradas de los grupos de bombeo durante el año 2008
- ANEXO 12:** Tabla de producción vs consumo 2008
- ANEXO 13:** Cálculo del ahorro proporcionado por el variador con el programa PumpSav 4.1.xls. (Energy Saving Calculator for Pumps) proporcionado por ABB.
- ANEXO 14:** Tabla comparativa de los distintos tipos de flujómetros utilizados en la industria.

## **RESUMEN**

Se realiza una Auditoría Energética en Petrocomercial de la estación de bombeo cabecera del Poliducto Esmeraldas-Quito, con la finalidad de mejorar la administración de la energía en esta planta, para lo cual se evalúa la eficiencia energética de los equipos que consumen mayor potencia en el complejo industrial.

Las mediciones se realizan con instrumentos y aparatos con los que cuenta la Facultad de Mecánica, principalmente, multímetro de bajo voltaje, analizador de gases, lámpara estroboscópica, termoanemómetro, medidor de luz e higrómetro. Con estos resultados, se detecta deficiencias energéticas en: motores de combustión interna a diesel, motores eléctricos, bombas centrífugas simples y multietapa, sistema de aire comprimido y edificaciones complementarias.

De acuerdo a las debilidades energéticas encontradas se sugieren tres medidas de ahorro y eficiencia energética que implica cambios en la operación y disposición de la planta. La primera es la implementación de un variador de frecuencia para los motores de las bombas booster. La segunda es la adaptación de un By-pass en la descarga de las bombas principales. Y la última es una combinación de ambas.

Se comparan las distintas medidas propuestas y resulta que la combinación de las dos primeras propuestas es la más adecuada dando un ahorro de 2,4 millones de dólares americanos en un periodo de 25 años. Otro resultado de la implementación de esta medida es la total eliminación del uso de los motores de combustión interna a diesel.

## SUMMARY

An energetic auditorship in Petrocomercial of the Pumping Station fortified point of the Poliducto Esmeraldas-Quito is carried out to improve the energy administration in this plant; for this, the energy efficiency of equipment consuming a major power in the industrial complex.

The measurements are performed with instruments and apparatus of the Mechanical Faculty, mainly low-voltage multimeter, gas analyzer, stroboscopic lamp, thermo-anemometer, light gauge and hygrometer. With these results the energetic deficiencies are detected in diesel internal combustion motors, electrical motors, simple and multistage centrifugal pumps, compressed air system and complementary buildings.

According to the found energetic weaknesses three measures of saving and energetic efficiency involves changes in the operations and plant disposal are suggested. The first one is the implementation of a speed driver for booster pump motors. The second is the adaptation of a bypass in the discharge of the main pumps. The last one is a combination of both.

Different proposed measures are compared and the result is that the combination of the first two proposals is the most adequate with a saving of 2.4 million USD over a 25-yr period. Another result of the implementation of this measure is the total elimination of the diesel internal combustion motor use.

## **CAPÍTULO I**

### **1. GENERALIDADES**

#### **1.1. Introducción**

La auditoría energética es un proceso que tiene por objetivo el encontrar oportunidades para optimizar el consumo energético dentro de cualquier sistema que consuma energía. Dentro de este proceso se interrelacionan la Eficiencia Energética, el Mantenimiento y las Condiciones de Operación como principales componentes para analizar los sistemas y luego concluir que medidas deben tomarse para mejorar el consumo energético.

#### **1.2. Antecedentes**

El errático precio del petróleo, lo polémico de la utilización de los biocombustibles y el Cambio Climático han llevado a los principales líderes políticos del mundo a tomar políticas para hacer un uso más eficiente de la energía; por otro lado es un hecho que este proceso, bien aplicado, será una excelente forma de dar más competitividad a las empresas pues se reducirían los costos de producción.

La estación de bombeo Esmeraldas tiene 34 años de desde que empezó su funcionamiento al igual que la Refinería Estatal Esmeraldas (REE). A lo largo de su vida ha tenido cambios y repotenciaciones debido al incremento de la capacidad de refinación y el mayor requerimiento de combustible en el país. Esta planta tiene en los grupos de bombeo sus principales elementos de consumo energético, mismos que son impulsados por energía térmica o eléctrica dependiendo de los requerimientos operativos.

Existe, de manera generalizada, la falsa creencia de que las empresas estatales no tienen porque ser eficientes pues todo lo que es del país es siempre ineficiente. Pero poco a poco los problemas sociales que conllevan el uso ineficiente de la energía están cambiando la forma de ver las cosas.

#### **1.3. Justificación Técnico-Económica**

Mediante la implementación de un proceso de Auditoría Energética se puede encontrar oportunidades para el mejor aprovechamiento de energía en la estación de bombeo.

Las Condiciones de Operación, el Mantenimiento y el análisis de Eficiencia Energética de la planta, arrojarán medidas de que tan bien se están aplicando los principios fundamentales correspondientes.

El principal componente contaminante, en cuanto a generación de energía, son tres motores de combustión interna que emanan gases contaminantes propios de este proceso. Aquí la Auditoría daría elementos de juicio para analizar estos subsistemas y tomar medidas para reducir las emisiones de los gases producto de la combustión.

El impacto económico que puede dar la Auditoría energética esta directamente relacionado con una reducción del consumo energético traducido en menos pago por estos y es el estado sería el beneficiario.

En cuanto al beneficio social que arrojaría este plan está la cultura de ahorro que queda en todos las personas involucradas en el funcionamiento de la planta.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. General**

Realizar una Auditoría Energética en la estación de bombeo Esmeraldas del Poliducto Esmeraldas-Quito.

##### **1.4.2. Específicos**

- Recopilar el marco teórico necesario.
- Evaluar cuantitativamente y cualitativamente el consumo energético.
- Determinar la eficiencia energética, pérdidas y despilfarros de energía en equipos y procesos.
- Identificar potenciales de ahorro energético y económico.
- Establecer indicadores energéticos de control y estrategias de operación y mantenimientos.
- Definir posibles medias y proyectos para ahorrar energía y reducir costos energéticos, evaluados técnica y económicamente.



## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Sistema de distribución eléctrica**

Se considera cada uno de los componentes del sistema de distribución eléctrica y describe la forma en que se evaluarán los mismos, considerando las limitaciones en instrumentación existentes.

##### **2.1.1. Generación y Transporte de Electricidad [1]**

Es un conjunto de instalaciones que se utilizan para transformar otros tipos de energía en electricidad y transportarla hasta los lugares donde se consume. La generación y transporte de energía en forma de electricidad tiene importantes ventajas económicas debido al coste por unidad generada. Las instalaciones eléctricas también permiten utilizar la energía hidroeléctrica a mucha distancia del lugar donde se genera. Estas instalaciones utilizan corriente alterna, ya que es fácil reducir o elevar el voltaje con transformadores. De esta manera, cada parte del sistema puede funcionar con el voltaje apropiado. Las instalaciones eléctricas tienen seis elementos principales: la central eléctrica, los transformadores, que elevan el voltaje de la energía eléctrica generada a las altas tensiones utilizadas en las líneas de transporte, las líneas de transporte, las subestaciones donde la señal baja su voltaje para adecuarse a las líneas de distribución, las líneas de distribución y los transformadores que bajan el voltaje al valor utilizado por los consumidores.

La estación central de una instalación eléctrica consta de una máquina motriz, como una turbina de combustión, que mueve un generador eléctrico. La mayor parte de la energía eléctrica del mundo se genera en centrales térmicas alimentadas con carbón, aceite, energía nuclear o gas; una pequeña parte se genera en centrales hidroeléctricas, diesel o provistas de otros sistemas de combustión interna.

Las líneas de conducción se pueden diferenciar según su función secundaria en líneas de transporte (altos voltajes) y líneas de distribución (bajos voltajes). Las primeras se identifican a primera vista por el tamaño de las torres o apoyos, la distancia entre conductores, las largas series de platillos de que constan los aisladores y la existencia de una línea superior de cable más fino que es la línea de tierra. Las líneas de distribución, también denominadas terciarias,

son las últimas existentes antes de llegar la electricidad al usuario, y reciben aquella denominación por tratarse de las que distribuyen la electricidad al último eslabón de la cadena.

Las líneas de conducción de alta tensión suelen estar formadas por cables de cobre, aluminio o acero recubierto de aluminio o cobre. Estos cables están suspendidos de postes o pilones, altas torres de acero, mediante una sucesión de aislantes de porcelana. Gracias a la utilización de cables de acero recubierto y altas torres, la distancia entre éstas puede ser mayor, lo que reduce el coste del tendido de las líneas de conducción; las más modernas, con tendido en línea recta, se construyen con menos de cuatro torres por kilómetro. En algunas zonas, las líneas de alta tensión se cuelgan de postes de madera; para las líneas de distribución, a menor tensión, suelen ser postes de madera, más adecuados que las torres de acero. En las ciudades y otras áreas donde los cables aéreos son peligrosos se utilizan cables aislados subterráneos. Cualquier sistema de distribución de electricidad requiere una serie de equipos suplementarios para proteger los generadores, transformadores y las propias líneas de conducción. Suelen incluir dispositivos diseñados para regular la tensión que se proporciona a los usuarios y corregir el factor de potencia del sistema.

### **2.1.2. Transformadores**

Hay una extensa bibliografía que habla sobre como evaluar el funcionamiento de los transformadores eléctricos de alto voltaje, pero estas requieren de instrumentos de medición de altos voltajes también, para realizar las pruebas de cortocircuito y circuito abierto, y así, determinar las impedancias, y también tomar datos de corriente y voltaje cuando el equipo está operando; esto no es posible ya que no se tiene acceso a los mencionados instrumentos.

La única forma de tener una idea de si el transformador está en buen estado es verificar que la temperatura superficial del mismo esté en los rangos normales. Esto se explica partiendo del principio de que toda pérdida de energía se observa como una transferencia de calor al sumidero. Entonces un recorrido en compañía del técnico eléctrico y la ayuda de un termómetro infrarrojo para medir la temperatura superficial es lo único que se puede hacer en estas condiciones.

## **2.2. Sistema de Potencia Térmica**

Lo que aquí se denomina Sistema de Potencia Térmica no es nada más la forma de diferenciar la impulsión, de las bombas principales, por medio de motores de Combustión

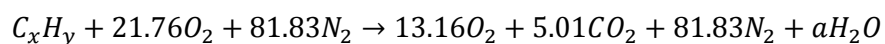
Interna y no con electricidad. También se incluye un modelo de evaluación de los multiplicadores de velocidad que transmiten potencia entre los MCI y las bombas multietapa principales.

### 2.2.1. Motores de Combustión Interna (MCI) [6]

Para efectos de esta investigación, el único interés va enfocado en los MCI a diesel sobrealimentados, y cómo determinar el consumo combustible y eficiencia. Para encontrar estos parámetros se tiene que tomar en cuenta la instrumentación confiable que hay y escoger el modelo de cálculo acorde. Los MCI de la estación no cuentan con la instrumentación necesaria y suficiente como para aplicar un análisis termodinámico del ciclo de Diesel y Brayton.

En caso de no contar con toda la instrumentación necesaria para la determinación del gran número de parámetros requeridos para encontrar la eficiencia del motor a diesel, por medio de ciclos termodinámicos, la solución se la realiza indirectamente con la ayuda primordial de los datos arrojados por un analizador de gases de combustión. Los datos que arrojan estos instrumentos dan la composición de los gases de combustión, con estos se puede plantear una reacción inversa para encontrar los reactivos teniendo los productos, entonces, por este método, se encuentra la relación aire combustible. Por ejemplo:

*Reactivos → Productos*



La relación aire combustible ( $r_{a/f}$ ) es:

$$r_{a/f} = \frac{m_a}{m_f} \quad (2.1)$$

donde,

$m_a$ , masa de aire y

$m_f$ , masa de combustible

Por otro lado, el analizador de gases también arroja datos de presión estática y dinámica necesarias para medir la velocidad de los gases en el ducto de escape.

$$V_{gas} = K_p C_p (\sqrt{\Delta p})_{prom} \sqrt{\frac{T_{chim}}{P_s M_s}} \quad (2.2)$$

donde,

$K_p$ , es 34.97 m/s ((g/g-mol)(mm Hg)/((mm H<sub>2</sub>O)(°K)))<sup>1/2</sup>

$C_p$ , es el Coeficiente de Pitot, adimensional equivalente a 0.84

$(\sqrt{\Delta p})_{prom}$ , es el promedio de la raíz cuadrada de velocidad dinámica en cada punto muestreado en la chimenea, mm H<sub>2</sub>O

$T_{chim}$ , es el promedio de la temperatura absoluta del gas de chimenea, K

$P_s$ , es la presión absoluta del gas de chimenea, equivalente a la suma aritmética de la presión estática y la presión barométrica, mm Hg y

$M_s$ , es el peso molecular del gas de chimenea en base húmeda, en g/g-mol

Finalmente, con los dos valores encontrados anteriormente: relación aire combustible y velocidad de los gases en el escape, se puede encontrar el consumo de combustible del motor en esas condiciones.

Se calcula la densidad de los gases de escape con la ecuación de estado:

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (2.3)$$

donde,

$\rho$ , densidad

$p$ , presión

$R$ , constante de la mezcla de gases y

$T$ , temperatura absoluta

Pero, primero se encuentra el valor de R de la mezcla mediante la fórmula

$$R = \sum x_i R_i \quad (2.4)$$

donde,

$R_i$ , constante de un gas en particular

$x_i$ , fracción molar de un gas en particular

Conociendo el área, la velocidad de los gases y la densidad de estos, la ecuación de continuidad da el flujo másico de los gases de la combustión:

$$\dot{m}_{gas} = AV_{gas}\rho \quad (2.5)$$

Entonces, el consumo de combustible lo da la fórmula siguiente:

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{m}_{gas}}{1+r_{a/f}} \quad (2.6)$$

Ahora, como se tiene el consumo de combustible es posible encontrar, directa o indirectamente, la potencia que entrega el MCI y encontrar su eficiencia:

$$\eta_{MCI} = \frac{P_m}{\dot{m}_{comb}q_v} \quad (2.7)$$

donde,

$q_v$ , es el poder calorífico inferior del combustible

$P_m$ , es la potencia de salida del MCI

### 2.2.2. Caja de velocidades [10]

Existen varios métodos para determinar la eficiencia de una caja de velocidades. El método elegido es el térmico, pues es el que más se ajusta a nuestras condiciones.

Las pérdidas de potencia por fricción en un reductor de velocidad se transforman en calor. Esta cantidad de calor que se genera en el interior del reductor aumenta la temperatura de sus diferentes componentes. A medida que esto sucede, se establece un gradiente  $\Delta T_e$  correspondiente al estado de equilibrio térmico, capaz de transferir al exterior todo el calor generado. Este gradiente se produce a la temperatura  $T_e$  expresado por:

$$\Delta T_e = T_e - T_a \quad (2.9)$$

donde,

$T_e$ , temperatura de equilibrio

$T_a$ , temperatura ambiente y

$\Delta T_e$ , gradiente de temperatura

Si las pérdidas de potencia en el reductor se producen a una razón constante (potencia constante), una vez alcanzado el estado de equilibrio térmico, la razón de disipación de calor también será constante. Esta depende del área de transferencia de calor, del coeficiente de transferencia y la de diferencia de temperatura y se puede calcular por la siguiente expresión:

$$Q = cA(\Delta T_e - 16.5) \quad (2.10)$$

El coeficiente de transferencia de calor  $c$  varía entre los límites de 0,013 a 0,0275; los valores más altos se aplican a los reductores rápidos y los más bajos se aplican a reductores sin fin de baja velocidad. En el caso actual se toma el valor recomendado  $c = 0,02 \text{ Cv/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

El gradiente de temperatura  $T_e$  se determina a partir del carácter newtoniano que sigue el incremento de la temperatura con el tiempo (figura 2-1).

La temperatura de equilibrio puede ser predicha midiéndola antes de que la condición de equilibrio sea alcanzada.

Si se toma la temperatura en tres instantes, igualmente espaciado el tiempo, los incrementos durante los dos períodos intermedios de tiempo serán:

$$R_1 = T_2 - T_1 \quad (2.11)$$

$$R_2 = T_3 - T_2 \quad (2.12)$$

$$T_e = T_3 + \frac{R_2^2}{R_2 - R_1} \quad (2.13)$$

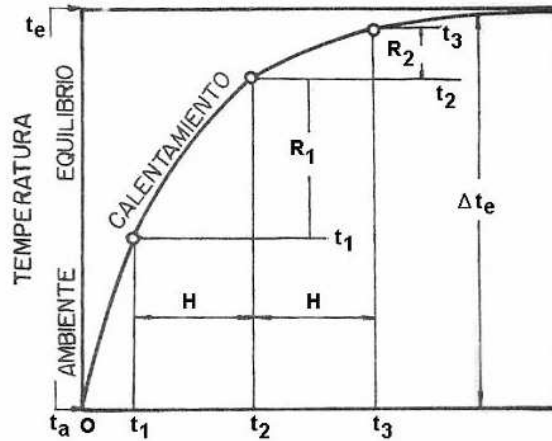


Figura 2.1: Comportamiento Térmico del Calentamiento de la Caja de Velocidades

Entonces la eficiencia de la caja da la expresión

$$\eta_{caja} = \frac{P_b}{P_b + Q} \quad (2.14)$$

donde,

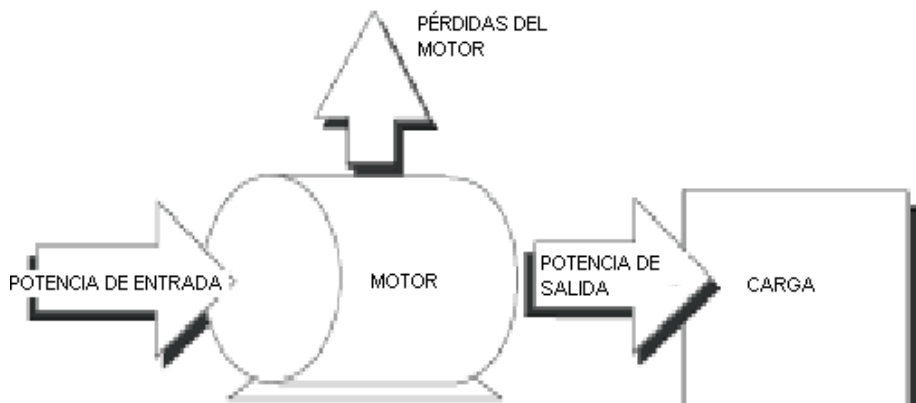
$\eta_{caja}$ , es la eficiencia de la caja

$P_b$ , es la potencia que exige la bomba y

$Q$ , es el calor expulsado al sumidero

### 2.3. Sistema de potencia eléctrica [8]

Un sistema de potencia eléctrica está constituido por la alimentación, el motor y la carga. Las tres partes mencionadas son susceptibles de evaluación si se cuenta con los elementos necesarios. En este caso se analiza de manera burda la alimentación de energía eléctrica pues no se cuenta con aparatos de medición de alto voltaje necesarios; las condiciones de la carga (la bomba) se evaluará sin ningún problema porque se cuenta con toda la información para hacerlo como medidores de presión y caudal, datos históricos y otros instrumentos; por último, la determinación de la eficiencia con que trabaja el motor eléctrico es posible debido a que se cuenta con todas las herramientas para eso y se detalla a continuación.



*Figura 2.2: Características Energéticas Principales Del Motor Eléctrico*

### 2.3.1. Eficiencia del motor eléctrico

En el diagnóstico de motores eléctricos se calcula la eficiencia, encontrando primero:

#### Factor de carga

##### *Método 1*

El porcentaje de carga a la que está funcionando el motor en el momento de la medición, se calcula este de la siguiente manera:

$$\%Carga = \frac{V}{V_r} \frac{I}{I_r} 100\% \quad (2.15)$$

donde,

$\%Carga$ , es la porción de la plena carga que está siendo utilizada en condiciones específicas

$V$ , es el voltaje línea-línea

$I$ , es la corriente de línea

$V_r$ , es el voltaje de placa

$I_r$ , es la corriente de placa

##### *Método 2 (o método Slip)*



En casos en que se tenga acceso a un valor medido de la velocidad angular del motor, ya sea por tacómetro o lámpara estroboscópica, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$\%Carga = \frac{Slip}{(S_s - S_r) \left(\frac{V}{V_r}\right)^2} * 100\% \quad (2.16)$$

y

$$Slip = S_s - S \quad (2.17)$$

Donde,

*Slip*, es el desplazamiento

$S_s$ , es la velocidad sincrónica

$S_r$ , es la velocidad de placa y

$S$ , es la velocidad de operación del motor

#### Potencia de entrada

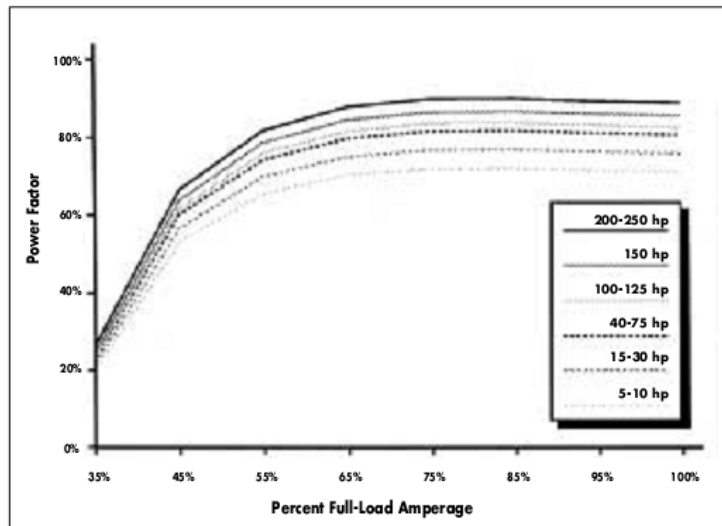
Con la ecuación siguiente se determina la potencia eléctrica  $P_i$  entrada a la máquina expresada en Kw.

$$P_i = \frac{\sqrt{3} * V * I * FP}{1000} \quad (2.17)$$

donde,

FP, es el factor de potencia que se lo encuentra en la placa del motor.

Si este no cuenta con este dato FP, en la placa, se puede determinar con la ayuda de la gráfica siguiente:



*Figura 2.3: Gráfica del Factor de Potencia en Función del Porcentaje de Amperaje y la Potencia en Hp. Tomada de la referencia 8.*

Luego, la eficiencia es hallada por la ecuación que a continuación se presenta:

$$\eta_m = \frac{0,7457 * P_r * \%Carga}{P_i} \quad (2.18)$$

donde,

$P_r$ , es la potencia de placa del motor [Hp].

#### **2.4. Sistema de aire comprimido [5]**

Los sistemas de aire comprimido son de especial atención siempre que se quiera realizar un diagnóstico energético en las plantas donde tengan uno como parte de su sistema de producción; el valor de la generación de aire comprimido es muy alta, si se lo compara con la cantidad que puede ser usada.

Uno de los sistemas más comunes de aire comprimido es el que cuenta con un conjunto moto-compresor y un tanque acumulador; estos se comunican por medio de un sistema de válvulas, filtros y tuberías; además, cabe señalar, que se está frente a un sistema intermitente que funciona de acuerdo al diseño del acumulador. En estos sistemas se utilizan compresores reciprocantes o de desplazamiento positivo, por otro lado, los compresores rotodinámicos son más usuales en procesos continuos.

### 2.4.1. Determinación de fugas

En los sistemas de aire comprimido, por lo general, las presiones superan los 8 bar. Como los gases se consideran ideales cuando están sujetos a una presión cercana a cero, entonces, no se puede considerar a los gases de los sistemas de aire comprimido como ideales sino como reales.

Para el caso de los gases reales se puede utilizar la ecuación de estado pero, esta vez, incluido el factor de compresibilidad  $Z$ :

$$pv = ZRT \quad (2.19)$$

donde,

$p$ , es la presión absoluta

$v$ , es el volumen específico

$R$ , la constante del gas

$T$ , es la temperatura absoluta

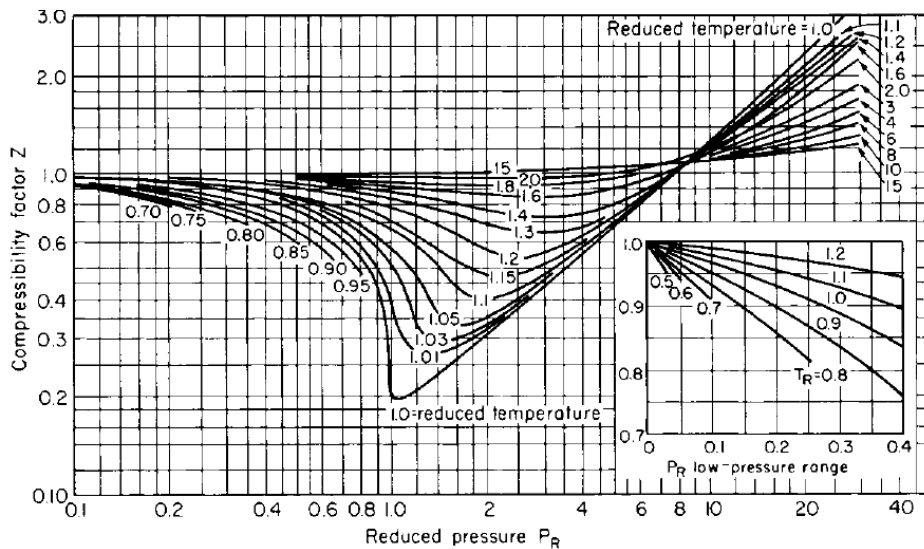


Figura 2.4: Gráfica del Factor de Compresibilidad

El valor de  $Z$  se encuentra en nomogramas como en el de la figura 2.4 por medio de la determinación de las propiedades reducidas  $v_R$ ,  $p_R$  y  $T_R$ :

$$v_R = \frac{v}{v_c} \quad (2.20)$$

$$p_R = \frac{p}{p_c} \quad (2.1)$$

$$T_R = \frac{T}{T_c} \quad (2.22)$$

donde:

$v_c$ ,  $p_c$ ,  $T_c$ : son propiedades críticas del gas

Luego, la ecuación siguiente es para la determinación de la cantidad de masa fugada es:

$$\Delta \dot{m} = \frac{V}{t_R} \left( \frac{p_2}{Z_2 T_2} - \frac{p_1}{Z_1 T_1} \right) \quad (2.23)$$

donde,

$V$ , volumen total del sistema

$Z$ ,  $T$  y  $p$  las condiciones inicial y final del gas

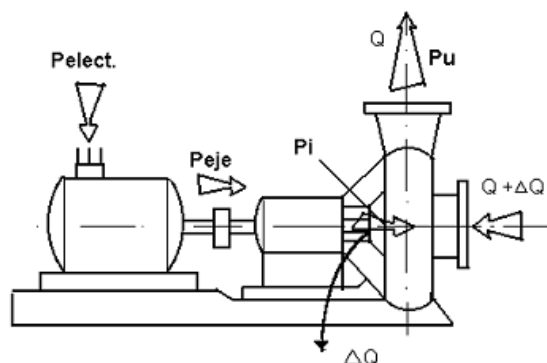
$t$ , es el tiempo en que el sistema compresor está apagado

$\Delta \dot{m}$ , es la masa de aire que se escapa

## 2.5. Sistema de bombeo [9]

Básicamente, un sistema de bombeo, está compuesto de la tubería de succión, bomba y tubería de descarga. Normalmente el diseño de estos sistemas se realiza dimensionando los sistemas de tuberías, bajo condiciones de caudal y presión específicas, y luego seleccionando la bomba para estos requerimientos con un tipo de fluido en particular. Si el sistema de tuberías está adecuadamente construido, entonces, la atención se centra en la evaluación del funcionamiento de la bomba para determinar, principalmente, su eficiencia.

### 2.5.1. Eficiencia de la bomba



**Figura 2.5:** Esquema de las Transformaciones Energéticas de una Bomba Centrífuga Acoplada a un Motor Eléctrico.

Cuando se selecciona una bomba, el fabricante da los valores de caudal, cabeza total dinámica, potencia, eficiencia y NPSH requerido, en condiciones de viscosidad, gravedad específica, diámetro y velocidad establecidas.

Las leyes de afinidad teniendo la velocidad angular, son las siguientes:

$$\frac{n}{n'} = \frac{Q}{Q'} = \sqrt{\frac{C}{C'}} = \sqrt{\frac{H_m}{H_m'}} = \sqrt[3]{\frac{P_b}{P_b'}} \quad (2.24)$$

donde,

$n$ , es la velocidad angular,

$Q$ , el caudal,

$P_b$  o  $P_i$ , la potencia en el eje de la bomba,

$C$ , el torque motriz y

$H_m$ , es la altura manométrica o TDH.

Las variables que están con apóstrofe en la ecuación 2.24 son las nuevas condiciones de funcionamiento.

#### *Potencia de flujo*

La potencia que tiene un líquido en movimiento es encontrada por medio de la siguiente ecuación:

$$P_{flujo} = 2,26574 * 10^{-5} p * Q \quad (2.25)$$

Donde,

$p$ , es la presión [psi]

$Q$ , caudal [barr/h]

$P_{flujo}$  o  $P_u$ , y la potencia de flujo está en [Kw]

#### *Rendimiento de la bomba*

Para el rendimiento de la bomba es la relación entre la potencia de salida de la bomba o potencia de flujo y la potencia de entrada de la bomba o la potencia que entrega el motor al eje.

$$\eta_{bomba} = \frac{P_{flujo}}{P_{entrada}} \quad (2.26)$$

## 2.5.2. Oportunidades de ahorro de energía en los equipos de bombeo

En todo sistema de bombeo se debe estar pendientes en las oportunidades de ahorro de energía que se puedan dar, aunque en muchos de los casos resulte evidente. Las causas más frecuentes de ineficiencia en los sistemas de bombeo son:

- Mala selección de la bomba.

Una bomba subdimensionada nunca podrá cumplir con las condiciones que la planta necesita; una bomba sobredimensionada provocará que haya desperdicio de energía debido al excesivo consumo de energía eléctrica y el estrangulamiento a aplicar que hará que se pierda energía en el mismo. En una bomba bien seleccionada su punto de operación se debe encontrar entre un 75 – 120 % de su BEP; caso contrario pasaría lo expuesto anteriormente.

- Condiciones de operación diferentes a las de diseño.

Se debe tener en cuenta para qué condiciones fue diseñado el sistema de bombeo porque al producirse cambios ya sea que se desee ampliar o reducir la planta puede provocar que las bombas instaladas pasen a operar a menor eficiencia.

- Bombas sobredimensionadas

Desde el punto energético los problemas con sobredimensionamiento son dos: consumen más energía eléctrica de la que necesitan (en el caso de estar acoplado a un motor eléctrico) y hay despilfarro de energía debido a que están funcionando severamente estranguladas.

Los principales aspectos hacia los que debe enfocarse esta búsqueda de oportunidades de ahorro de energía son:

1. **Mantenimiento excesivo**, el cual puede estar asociado con:
  - a) Bombas sobredimensionadas, operando severamente estranguladas.
  - b) Bombas en cavitación.
  - c) Bombas en muy mal estado técnico.
  - d) Bombas no adecuadas para la función que realizan.

2. **Sistemas de bombeo con grandes variaciones de flujo o de presión.** Cuando el flujo o la presión normal es inferior al 75% del valor máximo existe energía desperdiciada por un excesivo estrangulamiento, por recirculación de grandes flujos o por tener en operación más bombas de las necesarias.
3. **Recirculación de flujos** en dispositivos de control o de protección.
4. **Válvulas de control de flujo por estrangulamiento.** Las bombas que trabajen con un estrangulamiento fijo indican que están sobredimensionadas. La energía perdida en las válvulas de estrangulamiento es proporcional a la caída de presión en las mismas y el flujo que circule.
5. **Ruidos en bombas y válvulas.** Una bomba ruidosa normalmente es señal de cavitación, mientras que el ruido en válvulas es una indicación de caída de presión en ella, lo cual significa que hay una caída de energía.
6. **Sistemas con bombas múltiples.** Con frecuencia se pierde energía al recircular un exceso de capacidad, al mantener trabajando bombas innecesariamente, al mantener un exceso de presión en el sistema, o por tener gran incremento de capacidad entre bombas.
7. **Cambios en las condiciones de operación.** Se debe tener en cuenta para que condiciones fue diseñado el sistema de bombeo, al producirse cambios en las condiciones de la planta pueden provocar que las bombas instaladas pasen a operar a menor eficiencia.
8. **Consumos con bajos flujos y alta presión.** Esto provoca que el sistema tenga que operar a una presión mayor.
9. **Bombas con sobrecapacidad conocida,** esto implica que haya un despilfarro de energía debido a que se le implementaría un estrangulamiento que provoca muchas pérdidas de energía.

Una vez que se identifican las posibles causas de ineficiencia, se deben evaluar los potenciales de ahorro y el costo de implementación de los proyectos de mejora. El análisis de las condiciones actuales de operación es un buen punto de partida.

## 2.6. Consumo energético en edificaciones.

En toda edificación siempre se cuenta con equipos o aparatos que ayudan a alcanzar un ambiente de confort para el trabajo que se está realizando; pero aquello va a consumir energía eléctrica que debe ser optimizada en su uso. El enfoque será en el sistema de iluminación y en el sistema de aire acondicionado.

### 2.6.1. Sistema de iluminación

Este análisis se basa únicamente en la cantidad de iluminación que existe en un determinado sitio y verificar luego si esta entra dentro de la norma que especifica los niveles de iluminación para cada actividad.

*Tabla 2.1. NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS PARA CADA TRABAJO ESPECÍFICO*

Área o tipo de actividad	Categ.	Ilumin [lux]
Áreas públicas con alrededores oscuros	A	20 – 50
Orientación simple para las visitas temporales cortas	B	50 – 100
Donde las tareas visuales se realizan ocasionalmente	C	100 – 200
De alto contraste o de tamaño grande	D	200 – 500
De mediano contraste o de tamaño pequeño	E	500 – 1000
De bajo contraste o de tamaño muy pequeño	F	1000 – 2000
De bajo contraste con objeto muy pequeño, por períodos prolongados	G	2000 – 5000
Que requieren exactitud por períodos prolongados	H	5000 – 10000
Tareas visuales muy especiales con contraste extremadamente bajo y objetos muy pequeños	I	10000–20000

Además será de importancia observar cuál es la cultura de ahorro con que cuenta el personal de la estación.



## **2.6.2. Sistema de aire acondicionado**

En cuanto a estos dispositivos de climatización el tratamiento será el de verificar si están entregando las condiciones de confort para la región costa que es de 25°C y 60% de humedad relativa.

Además será de importancia observar cuál es la cultura de ahorro con que cuenta el personal de la estación.

## CAPÍTULO III

### **3. EVALUACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA DEL CONSUMO ENERGÉTICO.**

#### **3.1. Descripción de la planta**

Para que se tenga una idea más precisa de la planta en estudio, primeramente, se realiza una descripción general de la planta.

Esta es una estación de bombeo que empezó a funcionar en el año 1974, está ubicada en la ciudad y provincia de Esmeraldas, principal puerto petrolero del país y lugar donde también se encuentra la mayor planta de refinamiento (Refinería Estatal Esmeraldas REE). Esta planta es el punto de partida de combustibles líquidos proveídos ya sea por REE o buques petroleros encargados de transportar nuestras importaciones de combustibles comerciales derivados del petróleo.

La estructura funcional de la estación consta de cuatro departamentos principales:

- Sala de Operaciones y Supervisión
- Departamento de Movimiento de Producto (MOPRO)
- Laboratorio Químico
- Taller de Mantenimiento Electromecánico

La sala de operaciones está presidida por el supervisor de turno quien es la persona responsable del funcionamiento orquestado de cada uno de los departamentos mencionados arriba. Los operadores son los encargados de realizar las maniobras, en los equipos con los que cuenta la planta.

El departamento de Movimiento de Producto o MOPRO es el nexo con el Departamento de Programación (la parte de Petrocomercial que administra la demanda del combustible). En MOPRO es donde se encargan de llevar el aforo de combustible y comunicar a la sala de operaciones cual es la demanda de combustible actual para que se despache de acuerdo a la necesidad; estos a su vez, comunican a Programación cuál es el flujo de cada combustible que entra y sale de la estación de bombeo.

El laboratorio químico se encarga de determinar cuál es la calidad del producto de cada combustible y su posterior comparación con los límites permisibles de una norma nacional específica; trabajan en conjunto con el departamento de MOPRO en la decisión de permitir o no el acceso de combustible a los tanques de almacenamiento.

El Taller de Mantenimiento Electromecánico es el encargado de realizar las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo que existen en la estación. Este recibe las órdenes de mantenimiento de la central de mantenimiento electromecánico que se encuentra ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Tsachilas. Aquí solo se limitan a realizar tareas de mantenimiento reactivo y preventivo, dejando el predictivo a un lado.

Los componentes materiales principales del sistema de bombeo de esta estación son:

- Diez Tanques de almacenamiento, uno de alivio y otro para la alimentación de diesel.
- Subestación eléctrica.
- Grupo motobomba eléctrico (*sistema A*).
- Tres grupos motobomba a diesel (*Sistema B*).
- Sistema de tuberías Esmeraldas-Santo Domingo.
- Sistema de aire comprimido.

### 3.1.1. Tanques de almacenamiento

Estos son los recipientes que sirven de depósito de combustible hasta que son solicitados desde el departamento de Programación de Petrocomercial.



**Figura 3.1:** Fotografía de los Tanques de Almacenamiento

Las características de los diez tanques principales y dos complementarios con los que cuenta la estación aparecen en la tabla 3-1.

*Tabla 3.1. DATOS TÉCNICOS DEL CONJUNTO DE TANQUES DE LA ESTACIÓN.*

Tanques	Producto	Tipo de techo	Altura referencial (m-cm-mm)	Altura máxima operativa (m-cm-mm)	Altura mínima operativa (m-cm-mm)	Capacidad máxima operativa (barr)	Capacidad mínima operativa (barr)	Diámetro aproximado (m)
TIE-01	Jet Fuel	Fijo	14-65-8	14-00-00	01-00-0	55418	3802	28,342
TIE-02	G. Super	Flotante	16-48-7	13-40-0	01-20-0	32345	2849	22,224
TIE-03	G. Extra	Flotante	14-85-0	11-40-0	01-20-0	25191	2728	21,319
TIE-04	G. Extra	Flotante	16-61-3	13-40-0	01-20-0	101789	8741	39,441
TIE-05	Diesel 1	Fijo	14-71-8	14-00-0	01-00-0	17454	1254	15,918
TIE-06	Premium	Fijo	13/03/2000	12-40-0	01-00-0	27790	2162	21,333
TIE-07	G. Super	Flotante	14-85-0	11-40-0	01-20-0	51.815	5562	30,459
TIE-08	G. Super	Flotante	14-84-8	11-40-0	01-20-0	51741	5508	30,456
TIE-09	Diesel 2	Fijo	13/08/2004	12-40-0	01-00-0	56693	4445	30,464
TIE-10	Diesel 2	Fijo	13/08/2004	12-40-0	01-00-0	56772	4446	30,474
101	Diesel 2	Fijo	07-54-2	07-00-0	01-00-0	1440	206	6,46
102	Alivio	Fijo	07-53-9	07-00-0	00-00-0	1440	0	6,46

### 3.1.2. Subestación eléctrica

Esta subestación de recepción eléctrica fue instalada aquí en el año de 1996 cuando se instaló el motor eléctrico de 2500HP.



*Figura 3: Subestación Eléctrica. Este es el lugar de recepción de la Energía Eléctrica entregada por el Sistema Nacional Interconectado (SNI)*

Aquí están cuatro transformadores como componentes principales de la subestación. Las relaciones de transformación son 69000/13800 V, 13800/2800 V, 13800/480 V y

13800/220-110 V. El diagrama eléctrico unifilar de la estación de bombeo aparece en el anexo 1.

Además de los equipos eléctricos principales hay todo un sistema de protección y control en la caseta de la subestación. Este es el lugar es donde se encuentra un indicador digital que arroja datos como: energía consumida, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, potencial, corriente, factor de potencia, frecuencia y además los THD (Distorsión de Armónicos Total).

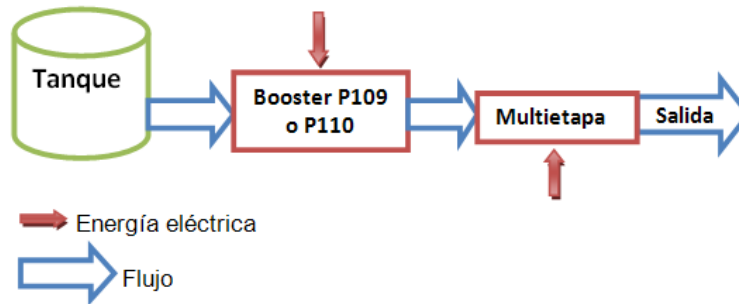


**Figura 3.3:** (a) Modulares de Control y Monitoreo. Dentro de la caseta la subestación se encuentran estas caja en donde se encuentra el todo el sistema de control electrónico para el sistema de abastecimiento eléctrico de la planta.

En la fotografía el técnico electricista está haciendo las observaciones en el indicador de la subestación. (b)

Indicador

### 3.1.3. Grupo motobomba eléctrico (*Sistema A*)



*Figura 3.4: Flujograma del Sistema A*

Su designación en la planta es P 104. Este es actualmente el sistema más importante con el que cuenta la estación pues trabaja casi de forma continua durante todo el año bajo condiciones de operación cambiantes. Lo componen un motor de 2500Hp marca ABB y una bomba multietapa de marca GUINARD. Los datos técnicos de la bomba aparecen en la el Anexo 2. Debido a que el sistema de tubería hasta la succión no garantiza un NPSH suficiente, este sistema de bombeo utiliza una bomba booster en serie con la bomba principal para dar la presión de succión suficiente y así evitar problemas de cavitación.



*Figura 3.5: Motobomba Eléctrica*

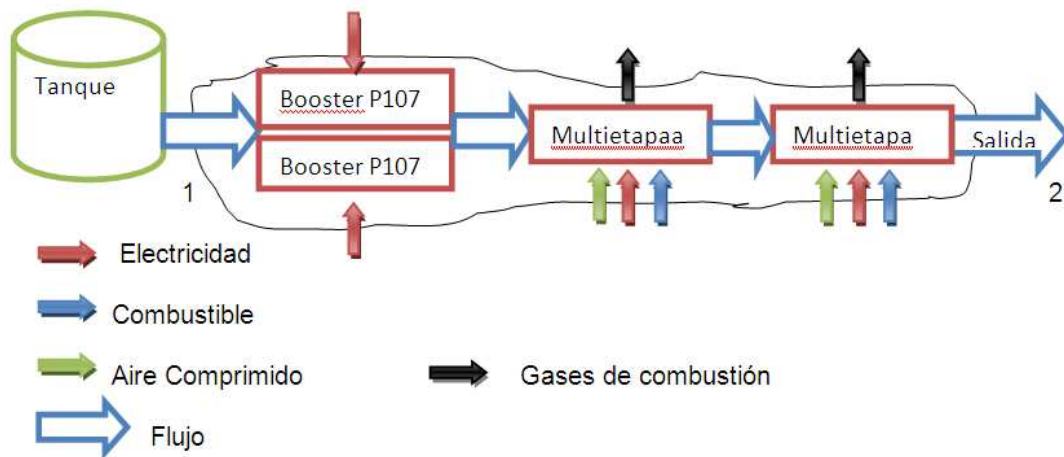
### 3.1.4. Grupos motobomba a diesel (*Sistema B*)

Sus designaciones son P 101, P 102 y P 103. En importancia, estos pueden considerarse secundarios actualmente, puesto que entran en funcionamiento cuando el grupo eléctrico no

funciona por tres motivos. Uno, cuando el caudal que requerido está bajo los 2000barr/hora, dos, cuando ha habido un fallo en el SIN y por ende no hay electricidad, o tres, el grupo motobomba eléctrico se encuentra averiado y/o en mantenimiento.

Cuando empiezan a funcionar estos grupos el sistema de bombeo cambia su configuración con dos bombas booster en paralelo y luego dos bombas multietapa en serie. La mayoría de las veces operan de dos en dos, es decir, solo uno de los tres grupos multietapa permanece en estado de espera para relevo mientras los otros dos están trabajando en serie. A diferencia del grupo eléctrico, este sistema necesita de dos bombas booster trabajando en paralelo para enviar el caudal y la presión suficiente a la succión de la primera bomba multietapa. Los datos técnicos de estos grupos se presentan en el Anexo 3. El siguiente diagrama de flujo da una mejor guía para entender cómo operan los grupos a diesel.

Además, estos grupos, se convierten en equipos auxiliares cuando hay cambio de partida<sup>1</sup> para sacar el producto de la línea de succión.



**Figura 3.6:** Diagrama de Flujo de las Motobombas Diesel o Sistema B

<sup>1</sup> Cambio de partida, en la jerga de la planta, se la conoce al cambio de combustible en el sistema de bombeo



Figura 3.7: Grupo Motobomba a Diesel

### 3.1.5. Sistema de tuberías Esmeraldas-Santo Domingo

El perfil del sistema de tuberías aparece en la figura 3.8.

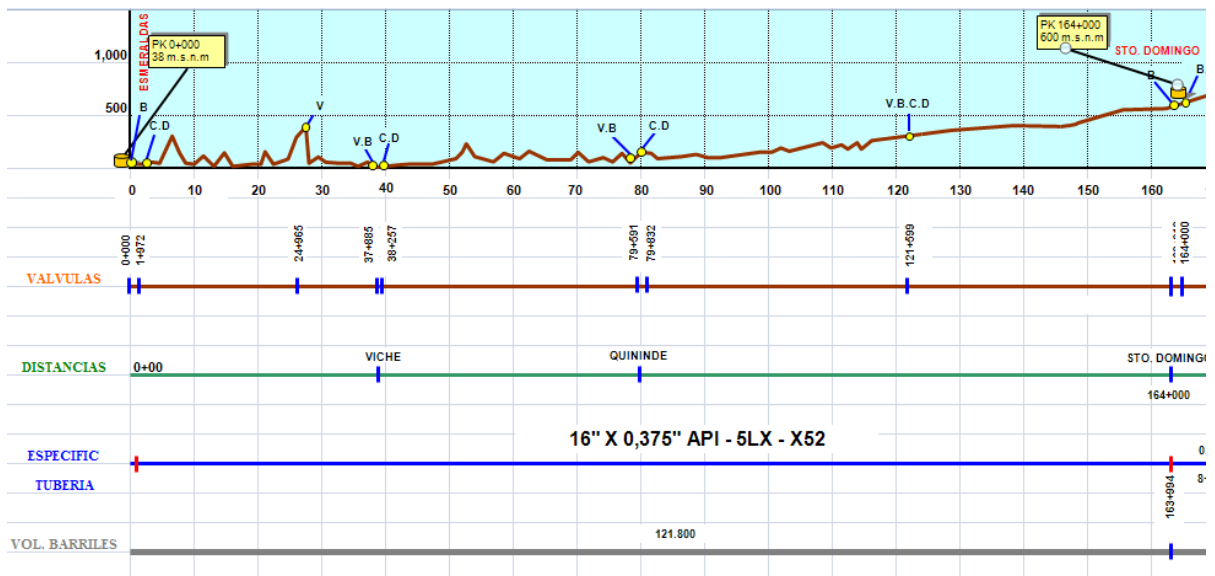


Figura 3.8: Perfil de la tubería desde Esmeraldas hasta Santo Domingo. Observamos el tipo de tubería, la ubicación de las válvulas y el volumen total dentro de la tubería.

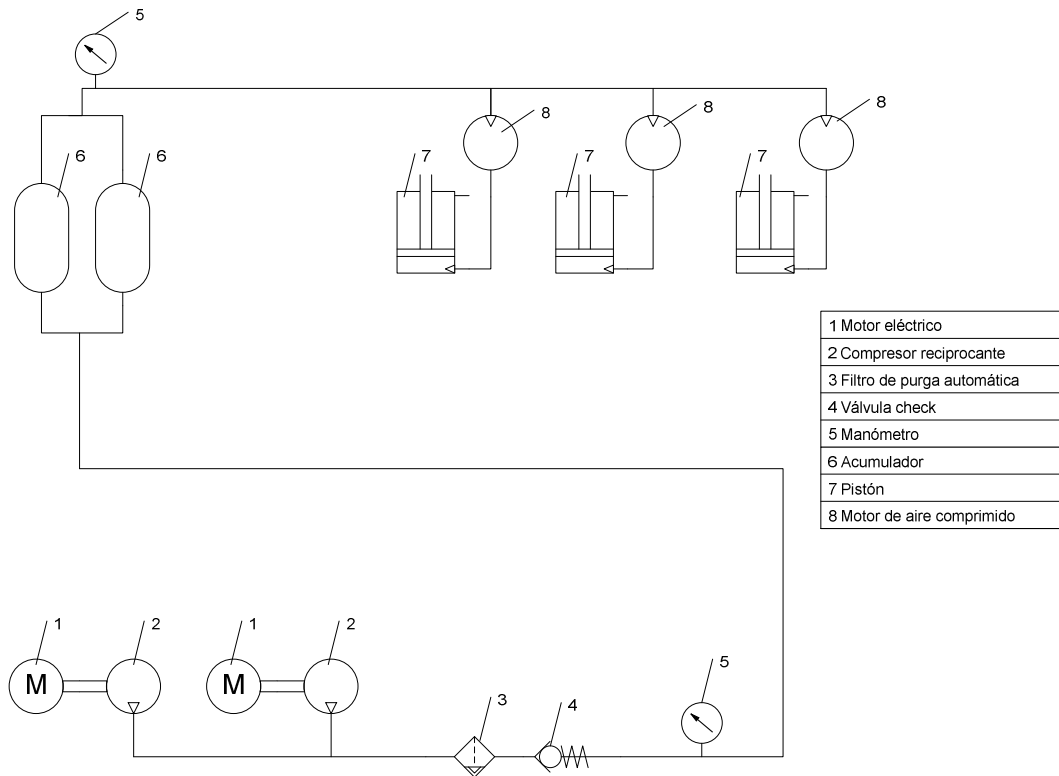
### 3.1.6. Sistema de aire comprimido

Este sirve para dar arranque neumático a los motores de combustión interna MWM 440-6k. Consta de dos motocompresores eléctricos, tubería de distribución, filtro, tanques acumuladores, válvulas de retención, manómetros de carátula, sistema de control automático. El



sistema de control automático está seteado a 250 y 350 psi como presión de encendido y apagado respectivamente.

Luego de realizar un recorrido, flexómetro en mano, se obtiene el siguiente esquema de este sistema:



*Figura 3.9: Esquema del Sistema de Aire Comprimido de la Estación.*

### **3.2. Determinación de la información necesaria para el diagnóstico.**

Para efectos de determinar todos los parámetros necesarios en la realización de un diagnóstico energético se requieren los siguientes datos:

- Facturación eléctrica y registro de producción
- Consumo de combustible
- Registros de operación y mantenimiento
- Datos técnicos de motores eléctricos, MCI, bombas y compresores.

Siendo este un sistema de bombeo la información necesaria se va a centrar en encontrar las características de tanques, tuberías, bombas booster, bombas principales, válvulas, accesorios y fluidos de trabajo. La operación y el mantenimiento de los equipos juegan un papel

muy importante para la auditoría energética a realizar; entonces, también se necesita información sobre los planes de mantenimiento y maniobras de operación con las que se trabaja en la empresa.

### **3.3. Selección de unidades, áreas y equipos a diagnosticar.**

Al aplicar el principio de Pareto las unidades a diagnosticar serán el 20% que consume el 80% de la energía total de la planta, principalmente, y también equipos en los que su gasto energético sea considerable como, por ejemplo, el sistema de aire comprimido; además también es posible una auditoría preliminar o poco rigurosa en oficinas y comedor para caracterizar este consumo y sugerir medidas de ahorro de rápida aplicación.

En el caso del sistema con grupo eléctrico al que se le ha denominado Sistema A, este está compuesto por las bombas booster P 109 y P 110, el sistema de tuberías y el grupo principal P 104. En consecuencia, se está frente a un sistema de bombeo en serie (con una booster funcionando continuamente y la otra de relevo) y una bomba multietapa impulsada con un motor alimentado desde variador de frecuencia que varía su velocidad angular mediante la manipulación de la frecuencia de la corriente.

En cambio los grupos a diesel al que se le ha denominado Sistema B mantienen dos bombas booster funcionando en paralelo para luego impulsar el flujo a la primera de las bombas multietapa principales, ésta a su vez eleva la presión en la succión de la segunda bomba multietapa final. Aunque la configuración anterior es la más común, en este sistema, suele haber condiciones en que el caudal demandado sea tan pequeño que no haga falta más que el funcionamiento de uno de los grupos a diesel y no dos, como normalmente funcionan.

Una parte importante en el diagnóstico también es el sistema de aire comprimido utilizado para el arranque de los MCI pues consta de dos compresores de dos etapas (uno en relevo), tuberías de distribución, dos acumuladores de 250L y demás elementos complementarios. En conversaciones con los técnicos del departamento de mantenimiento electromecánico hicieron conocer que los compresores se encienden, más o menos, unos 8 minutos cada 30 minutos; lo que es considerable de analizar y comprobar dado la el gran costo, ya consabido, de producir aire comprimido en cualquier industria.

### **3.4. Planeación de los recursos y el tiempo.**

Los principales recursos con los que se cuenta son:

- Talento humano
- Datos de registros
- Aparatos de medición
- Tiempo

El talento humano es el principal recurso, conformado por miembros de las cuatro áreas principales que integran el equipo completo de la planta. Cada uno de estos actores tiene una importante labor en la correcta aplicación de esta auditoría energética.

Los datos históricos registrados de operación, mantenimiento y consumo energético son de fundamental importancia para tomar el punto de partida y realizar una caracterización energética de la industria en estudio.

Los aparatos y equipos de medición sirven para la determinación de la eficiencia energética de la mayoría de equipos y sistemas existentes en la industria, tanto como, en edificios. La lista de instrumentos de medición disponibles y sus características aparecen en el Anexo 5. Con estos instrumentos se puede comprobar el funcionamiento preciso del sistema de medición presente en la estación de bombeo y, principalmente, medir parámetros que no son de interés para la operación pero sí para la determinación de eficiencia o diagnóstico de equipos.

Previo a cualquier medición es recomendable, primero obtener los datos históricos de operación y mantenimiento para tener una idea aún más precisa de la evolución del funcionamiento de la planta. El cronograma de actividades para este efecto aparece en la siguiente tabla:

*Tabla 3.2. CRONOGRAMA DE LA REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN*

<b>Recopilación de la Información</b>									
<b>Actividad</b>	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9
<b>Sistema A</b>									
Datos técnicos									
Registro de Operación									
Registro de mantenimiento									
<b>Sistema B</b>									
Datos técnicos									
Registro de Operación									
Registro de mantenimiento									

Todos los recursos anteriores tienen que entrar en sinergia en un tiempo óptimo y esto solo es posible mediante una planificación metódica de los parámetros a medir y la coordinación de los mismos. El cronograma pormenorizado de este plan aparece en la tabla 3.3.

### 3.5. Revisión metrológica en los lugares claves a diagnosticar.

La observación para este efecto se realiza en los lugares donde se encuentran los principales equipos de consumo y sus accesorios o complementos. En las figuras que aparecen a continuación se describe brevemente la revisión realizada.

*Tabla 3.3. CRONOGRAMA DE MEDICIONES*

Actividad	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	14:00	15:00	16:00	17:00
<i>Primer día</i>									
<b>Sistema con motor eléctrico</b>									
Subestación									
Variador									
Grupo									
Operaciones									
Booster									
<b>Sistema con motor diesel</b>									
Grupo									
Operaciones									
Booster									
<i>Segundo día</i>									
<b>Sistema de iluminación y climatización</b>									
Operaciones									
Mantenimiento									
MOPRO									
Comedor									
Laboratorio									



**Figura 3.10:** Esta es una foto del galpón dentro del cual se encuentran los grupos de bombeo, principales consumidores energéticos de la planta.



**Figura 3.11:** Este es la Bomba multietapa P104.



**Figura3.12:** Distribuidor



*Figura 3.13: Bombas Booster P 109 110*



*Figura 3.14: Tubería de Descarga de las Bombas Booster*



*Figura 3.15: Bomba P 104 con Tuberías de Succión y Descarga*



*Figura 3.16: Tubería de Descarga de la P 104*



*Figura 3.17: Trampa de Rascadores.*



*Figura 3.18. Punto 00.*





*Figura 3.19: Transformador Principal, 69000 /13800 V*



*Figura 3.20: Transformador del Variador, 13800/2800 V.*



*Figura 3.21: Transformador de baja, 13800/ 210 y 120 voltios.*

### **3.6. Recopilación de la información.**

Luego de realizar una estimación del tiempo en recopilar cada parte de los datos necesarios y organizarlos en el cronograma de la tabla 3 se está listo para recoger todo, desde cada fuente de información, con los que cuenta la planta.

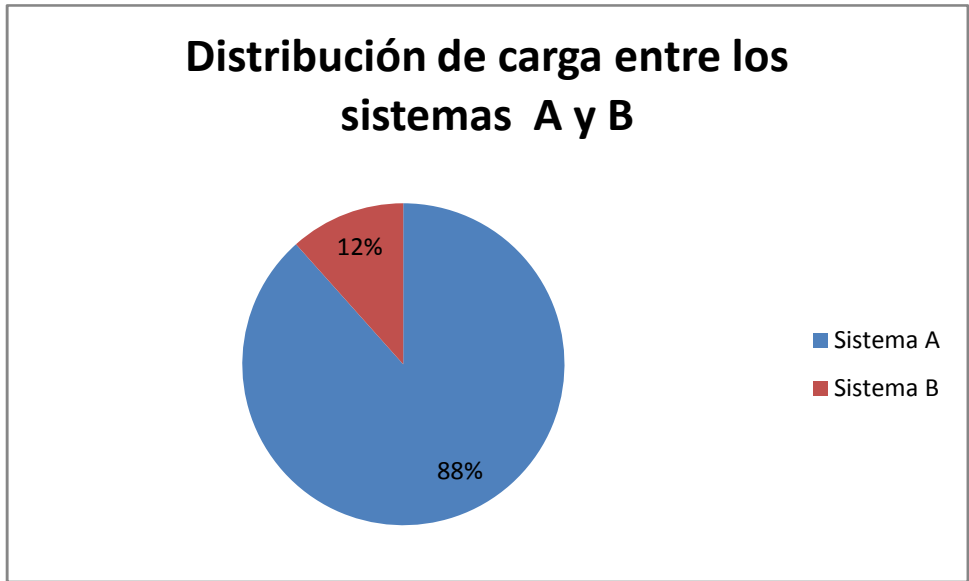
La información tiene seis componentes principales:

- Registro de operación
- Registro de mantenimiento
- Datos técnicos de todos los equipos y sistemas a evaluar
- Producción
- Fallas o averías
- Observaciones en cuanto a la cultura de ahorro

Con estos datos se puede realizar los siguientes gráficos que muestran cuales son las características energéticas de la planta.

#### **3.6.1. Distribución de la carga anual entre los Sistemas A y B**

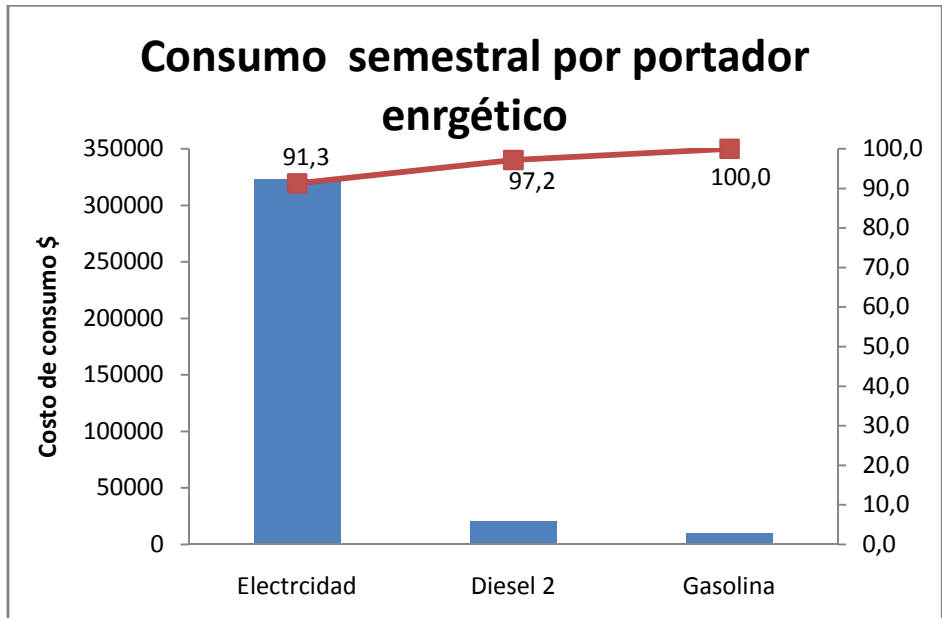
Mediante el reporte las *horas de trabajo anual* podemos ilustrar la siguiente distribución de la carga entre los dos sistemas:



*Figura 3.22: Distribución de la Carga entre los Sistemas A y B, año 2008.*

### 3.6.2. Diagrama de Pareto de los costos de toda la planta por portador energético

Por medio de los informes de consumo semestral, la facturación mensual de Empresa Eléctrica Esmeraldas y el promedio mensual de flujo eléctrico desde REE<sup>2</sup> se tiene el grafico estratificado de la figura 3.23.

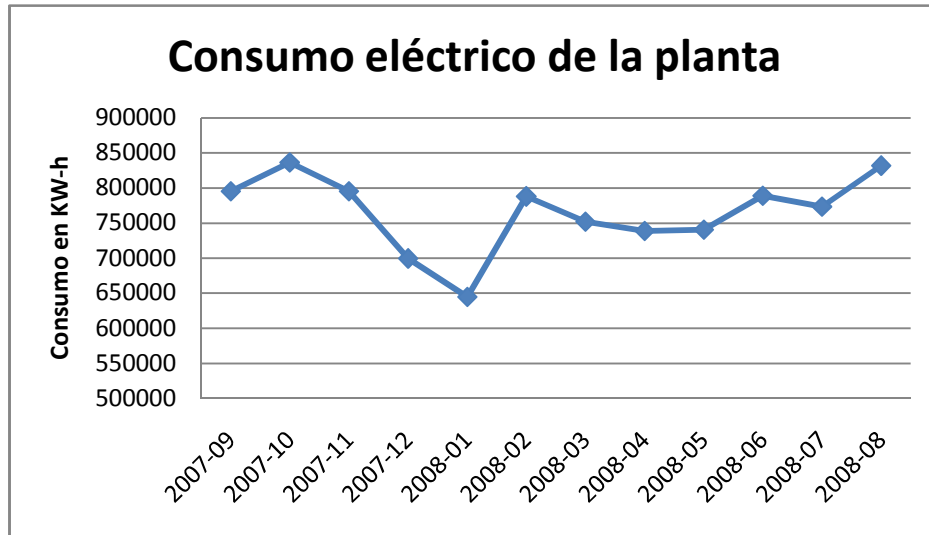


*Figura 3.23: Caracterización Energética de la Planta por portador Energético durante el segundo semestre del 2008. Observamos que el consumo eléctrico supera con mucho a los de diesel gasolina.*

<sup>2</sup> El consumo promedio mensual de la estación fue determinado observando el contador en Mw-h que existe junto a la caseta de operaciones. Este marcaba aproximadamente 376 Mw desde que fue instalado hace casi un año atrás

### 3.6.3. Control de consumo

Este gráfico resulta de la facturación desde Empresa Eléctrica Esmeraldas y el consumo promedio mensual desde REE.



*Figura 3:24: Consumo Eléctrico Mensual, 2008.*

Consumo promedio desde REE: 31 000 Kw-h

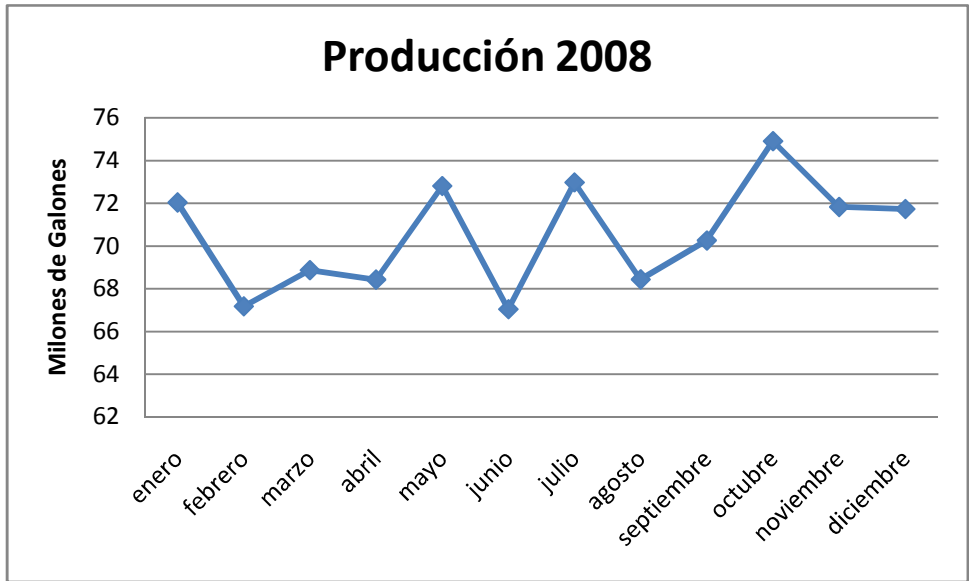
Consumo promedio desde SIN: 734404 Kw-h

Consumo promedio total: 765 403 Kw-h

Total anual: 8 843 843 Kw-h

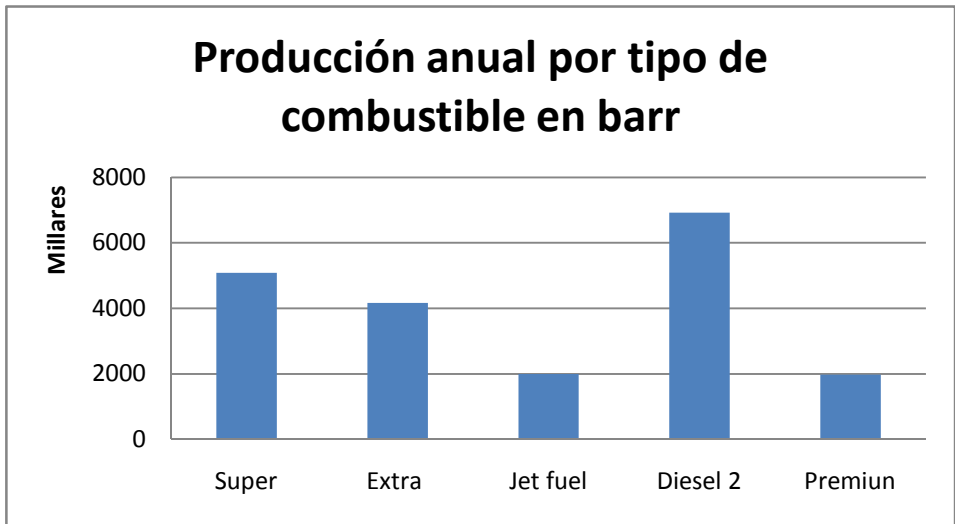
### 3.6.4. Producción

Los datos de MOPRO muestra el comportamiento de la producción de 2008.



*Figura 3.25. Comportamiento de la Producción, 2008*

Promedio mensual: 70 545 404 galones



*Figura 3.26. Producción Anual por Tipo de Combustible*

### 3.6.5. Producción Vs Consumo

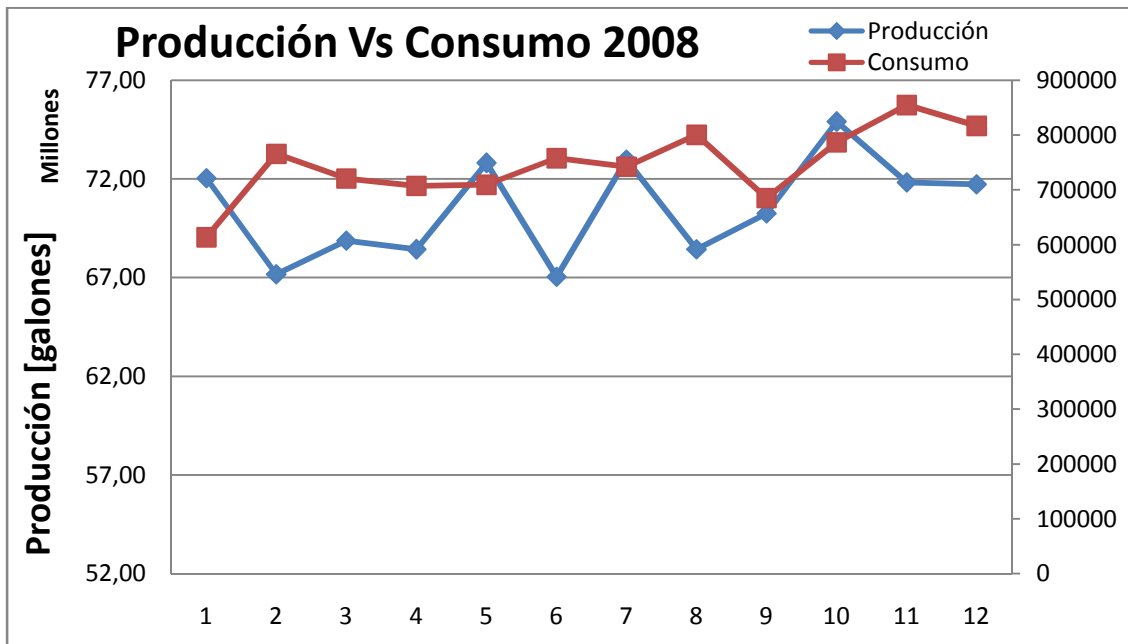


Figura 3.27: Comparación del Consumo de Electricidad con la Producción, 2008.

A partir de la gráfica 3-27 de Producción Vs Consumo se puede observar que no hay un comportamiento relacionado, en proporción directa, de los parámetros. En los meses marzo, octubre y diciembre son los únicos en los que la producción estuvo en proporción directa con el consumo, en el resto de periodos la relación es más errática y hasta de relación inversa entre los dos parámetros en análisis.

### 3.6.6. Control del Caudal

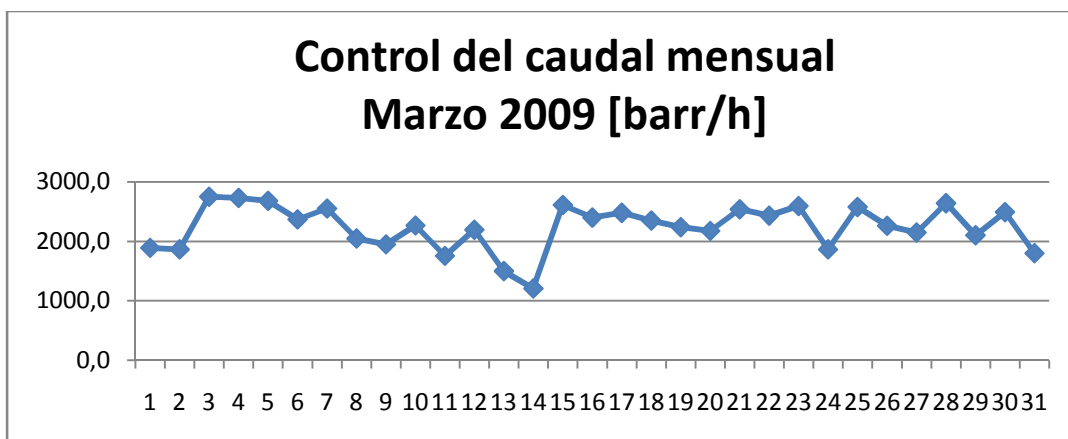


Figura 3.28: Control Mensual del Caudal de Bombeo

### 3.6.7. Estratificación de consumo por equipo

Debido a que existen dos sistemas distintos y diferentes equipos que los conforman se realiza esta ponderación descendente para cada uno (A y B) por separado.

Sistema A

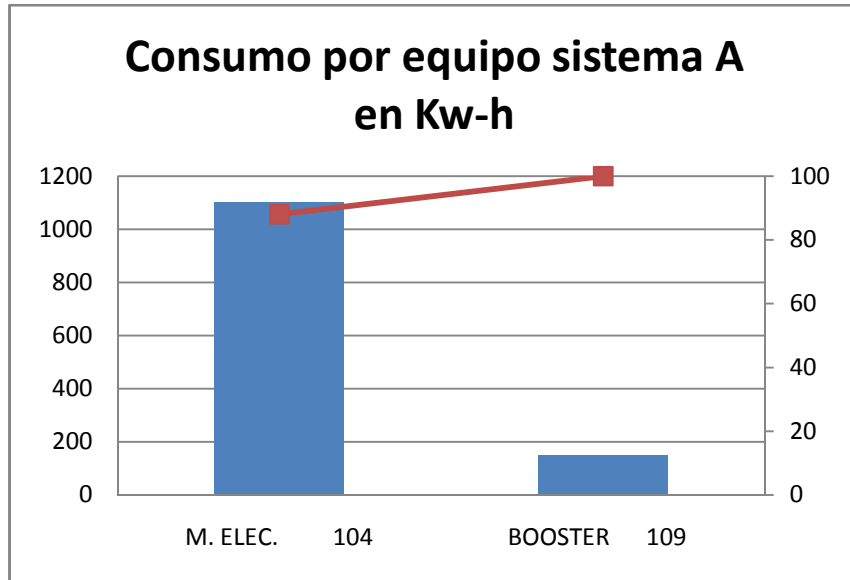


Figura 3.29: Consumo por equipo cuando funciona el Sistema A

Sistema B

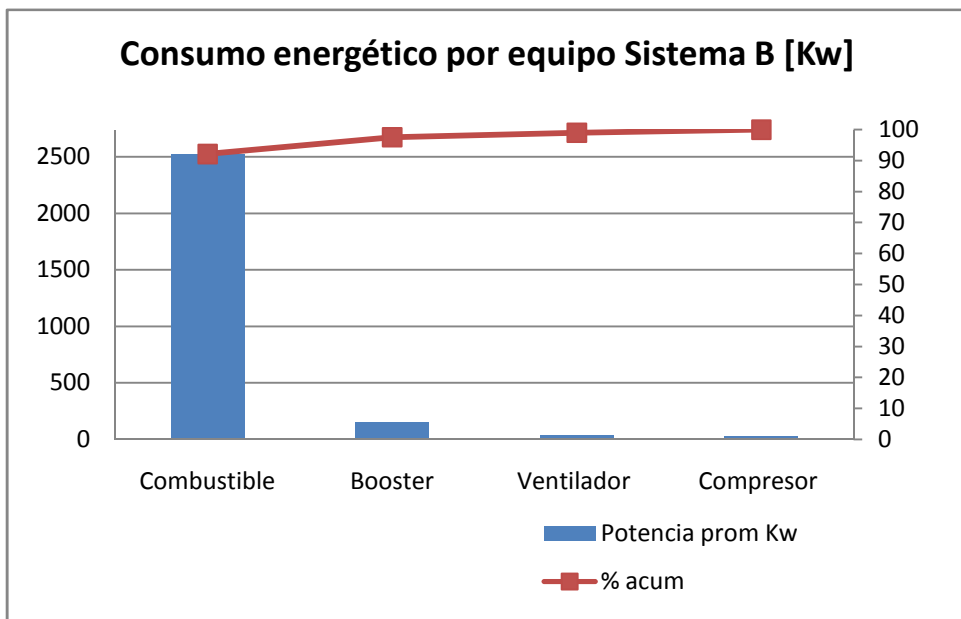


Figura 3.30: Consumo por equipo cuando funciona el Sistema B

### 3.6.8. Paradas

Otro buen dato sobre la operación de los equipos es el que muestra las paradas en horas que se producen en la planta. Estos datos aparecen ordenados en el anexo 10.

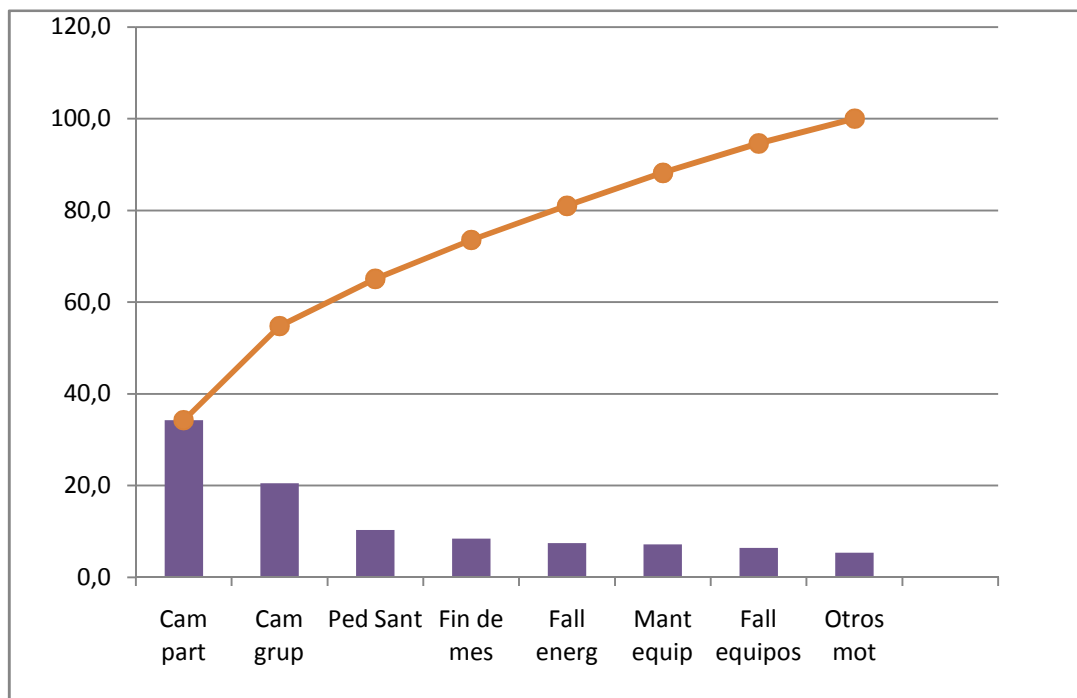


Figura 3.31: Diagrama de Pareto de paradas, 2008

Las siete causas principales por las que se dieron parada en el bombeo en el año 2008 fueron por: cambio de partida, cambio de grupo de bombeo, pedido de Santo Domingo, fines de mes, falla energía eléctrica, mantenimiento de equipos y falla de equipos en orden decreciente en cuanto al porcentaje de tiempo ocupado en el año.

### 3.6.9. Registro de mantenimiento

Las tareas de mantenimiento preventivo de los principales equipos de la estación están detalladas a continuación:

#### P 101, P102 y P 103

##### MWM 440

Cada 250 horas

- Cambio de aceite del carter



- Cambio de filtros de aceite
- Cambio de filtros de diesel
- Limpieza y cambio de aceite al filtro de admisión

Cada 6 meses

- Control de vibración
- Control de sellos mecánicos y estufas
- Control de estado de engranajes y sistema de lubricación
- Control de estado de acoples y vibración en los mismos

#### Sistema de inyección

Cada 2000 horas

- Calibración de válvulas
- Observación de trabajo de inyectores
- Chequeo y calibración de inyectores
- Chequeo de válvulas de arranque
- Revisión de correas y rodamientos bomba de inyección
- Revisión de estado de resortes de plunger de la bomba de inyección

#### Turbocompresor y gobernador

Cada 1000 horas

- Cambio de aceite

#### Bomba multietapa

Cada 6 meses

- Control de vibración
- Control de sellos mecánicos
- Control de estado de cañerías y corrección de fuga de producto

#### Multiplificador

Cada 500 horas

- Control de vibración
- Control de sellos mecánicos y estufas
- Control de estado de acoples y estado de los mismos
- Control de estado de engranes y lubricación de acoples

#### Compresores

Cada 300 horas

- Cambio de aceite
- Cambio de válvulas

## **P 104**

### Bomba multietapa

Cada 1500 horas

- Cambio de aceite
- Cambio de aceite en botellas de relleno
- Inspección de lubricación en funcionamiento

### Motor eléctrico

Cada 5000 horas

- Cambio de aceite
- Cambio de filtro
- Inspección de lubricación en funcionamiento

### Válvulas motorizadas

Cada 6 meses

- Revisión chequeo y ajuste de sello de vástago
- Lubricación del para vástago-tuerca
- Lubricación de la caja de engranajes
- Cambio de aceite en la caja de engranajes

### Tanques

Cada 6 meses

- Limpieza de sedimentos
- Lubricación de válvulas

### Booster

Cada 1500 horas

- Cambio de aceite a cojinetes de bomba
- Prueba de funcionamiento

### **3.6.10. Fallas o averías**

Las fallas o averías observadas durante todas las visitas realizadas en la fase de campo fueron las siguientes:

- Indicador digital del variador de frecuencia del motor de la bomba P 104 averiado.
- Fuga de aire en la tubería principal de distribución de aire comprimido, se supone que se debe a la antigüedad de la misma.
- Fuga líquida en el filtro de salida del compresor del sistema de aire comprimido: esta presentaba un color blanquecino.
- Sonido característico de cavitación en una de las bombas booster.
- Equipos de acondicionamiento de aire ruidosos.

### **3.6.11. Observaciones en cuanto a cultura de ahorro**

- Exagerado descenso de la temperatura en las oficinas, por medio del aire acondicionado, de hasta 18°C.
- Uso del sistema de aire comprimido inadecuado o utilizado para fines no predeterminados en la instalación inicial

### **3.7. Elaboración del plan de mediciones.**

Luego de los recorridos de reconocimiento se desarrolla el plan de mediciones de las variables que faltan para el diagnóstico. Este plan es una armonización del conocimiento desarrollado en el marco teórico, los instrumentos de medida disponibles, los datos recopilados y el talento humano con que cuenta la estación.

#### **Sistema A.**

##### *Subestación eléctrica.*

Aquí se cuenta con instrumentos de medición de variables eléctricas propias de la planta como transformadores de potencial y de corriente. Estos datos aparecen en el armario principal de la caseta de la subestación de la planta. Los parámetros que arroja el indicador e interesan son: voltaje línea-línea promedio, corriente línea-línea promedio, factor de potencia, potencia

real, potencia reactiva, potencia aparente y frecuencia. La hoja de mediciones aparece en el Anexo 7, se toman seis veces estos parámetros cada 30 segundos para tener una muestra de datos segura.

#### *Grupo motobomba eléctrica P104.*

Para los motores eléctricos se necesita el instrumento multímetro (cuyas especificaciones técnicas del mismo se encuentran en el Anexo 5, bajo el ítem 4) para tomar los datos del voltaje de línea a línea, las corrientes de líneas, cuya hoja de medición se encuentra en el Anexo 7.

En cambio para la bomba las presiones de entrada y salida se encuentra indicada en sus respectivos manómetros, con dichas presiones y adicionalmente se toman los valores de RPM, caudal y temperatura de succión se encuentra; lo cual se encuentra en la sala de operaciones de la estación. Luego de esto se realiza el procedimiento detallado en el capítulo II para encontrar la eficiencia de la bomba tal como se verá más adelante en el capítulo IV.

#### *Motobombas booster P109 y P110.*

Para cualquiera que sea la booster en funcionamiento (pues trabajan en relevo) los datos necesarios se los tomaría con los siguientes instrumentos: lámpara estroboscópica para medir las RPM, manómetros ubicados en la succión y descarga, termómetro ubicado in situ y también el caudal a través de turbinas de medición de flujo in situ. Para todos estos datos los anotamos en nuestra hoja de medición la cual se encuentra en el Anexo 7.

### **Sistema B**

#### *Motor a diesel*

Para este sistema, la estación cuenta con pocos medios tecnológicos que puedan ayudar al diagnóstico. Para este caso se necesita de un analizador de gases para determinar la relación aire/combustible y el flujo de gases de combustión. Los dos parámetros mencionados sirven para encontrar el consumo de combustible con mucha precisión. Además de determinar la combustión hay que tabular los datos de velocidad mientras se está realizando la prueba para luego comparar este dato con un estándar de consumo a potencia y velocidad específica, según la norma ISO 3046 parte 1 el formato para este caso aparece en el anexo 7.

#### *Bomba P101, P102 y P103*

El procedimiento para el diagnóstico consta de la tabulación de los datos de presión de succión y descarga, caudal y temperatura en la entrada. Hay que tener en cuenta que estos datos se deben tomar mientras se realiza la prueba con el analizador de gases para tener un resultado más preciso. Luego de esto se realiza el procedimiento detallado en el capítulo II para encontrar la eficiencia de la bomba.

*Motobombas booster P107, P108*

Aquí el método para realizar es congruente con el mostrado en anterioridad para las bombas booster P109 y P110.

### **3.8. Mediciones de campo.**

Luego de que se ha planeado los recursos y el tiempo se puede realizar todas las mediciones que permita la instrumentación a la mano.

Se toma la precaución de que todas las medidas sean tomadas con mínimas variaciones en los parámetros de operación y, además, a la misma hora para intentar un mayor acercamiento a las medidas instantáneas y simultáneamente.

## **SUBESTACIÓN**

*Tabla 3.4. MEDICIONES DE CAMPO DE LA SUBESTACIÓN*

<b>I AVG [A]</b>	<b>V AVG [V]</b>	<b>FP</b>	<b>P REAL [Kw]</b>	<b>Q REACTIVA [KVAR]</b>	<b>S APARENT [KVA]</b>	<b>FREC [Hz]</b>
48,5	14300	97,3	1167	255,0	1194	59,9
55,7	14430	96,4	1357	295,5	1384	60,1
48,4	14310	97,5	1170	266,6	1200	59,9
51,3	14350	97,7	1245	270,3	1274	59,9
59,0	14400	96,6	1421	380,2	1471	60,1
48,1	14290	97,5	1162	265,7	1192	60,0
Fecha: 2009-03-16						
Hora: 08h00 – 09h00						

## BOMBAS CENTRÍFUGAS

P 101

*Tabla 3.5. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P101*

Q [barr/h]	Ps [psi]	Pd [psi]	Vel [rpm]	Ts [°F]
1521	110	530	590	86
1532	110	530	590	86
1567	110	530	590	86
1570	110	530	590	84
1320	150	550	610	82
1590	150	550	610	82
Fecha: 2009-03-11				
Hora: 10H00 A 15H00				

P 102

*Tabla 3.6. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P102*

Q [barr/h]	Ps [psi]	Pd [psi]	Vel [rpm]	Ts [°F]
1550	530	850	598	90
1550	530	850	600	90
1520	530	850	600	92
1540	570	850	600	94
1540	570	850	605	92
1530	570	850	605	90
Fecha: 2009-03-11				
Hora: 08H00 A 13H00				

P 103

*Tabla 3.7. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P103*

Q [barr/h]	Ps [psi]	Pd [psi]	Vel [rpm]	Ts [°F]
1521	530	900	600	86
1532	530	880	600	86
1567	530	880	600	86

1570	530	880	600	84
1320	540	1000	620	82
1590	540	1000	620	82
Fecha: 2008-04-14				
Hora: 08H00 A 13H00				

P 104

**Tabla 3.8. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P104**

Q [barr/h]	Ps [psi]	Pd [psi]	Vel [rpm]	Ts [°F]
2440	138	1091	2898	86
2540	138	1154	2949	88
2490	136	1126	2972	90
2510	136	1166	2968	90
2560	131	1207	3060	92
2610	122	1178	3070	94
Fecha: 2009-03-16				
Hora: 08H00 A 13H00				

P 107

**Tabla 3.9. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P107**

Q [barr/h]	Ps [psi]	Pd [psi]	Vel [rpm]	Ts [°F]
761	25	110	1785	70
766	25	110	1785	70
784	25,2	110	1785	70
785	25	110	1785	70
660	24,7	150	1785	70
795	24,7	150	1785	70
Fecha: 2009-03-11				
Hora: 10H00 A 15H00				

P 108

**Tabla 3.10. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P108**

Q [barr/h]	Ps [psi]	Pd [psi]	Vel [rpm]	Ts [°F]
760,5	25	110	1787	70
766	25	110	1787	70

783,5	25,2	110	1787	70
785	25	110	1787	70
660	24,7	150	1787	70
795	24,7	150	1787	70
Fecha: 2009-03-11				
Hora: 10H00 A 15H00				

P109

*Tabla 3.11. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P109*

Q [barr/h]	Ps [psi]	Pd [psi]	Vel [rpm]	Ts [°F]
1760	23	120	1787	71
1560	22,5	120	1787	71
1700	22	120	1787	71
1130	22	120	1787	71
800	22	120	1787	71
1510	22	120	1787	71
Fecha: 2009-03-11				
Hora: 10H00 A 15H00				

P 110

*Tabla 3.12. MEDICIONES DE CAMPO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA P110*

Q [barr/h]	Ps [psi]	Pd [psi]	Vel [rpm]	Ts [°F]
1760	23	120	1787	71
1560	22,5	120	1787	71
1700	22	120	1787	71
1130	22	120	1787	71
800	22	120	1787	71
1510	22	120	1787	71
Fecha: 2009-03-11				



Hora: 10H00 A 15H00

## MOTORES ELÉCTRICOS

P 110

*Tabla 3.13. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DE LA BOMBA P110*

<b>V<sub>AB</sub> [V]</b>	<b>V<sub>BC</sub> [V]</b>	<b>V<sub>AC</sub> [V]</b>	<b>I<sub>A</sub> [A]</b>	<b>I<sub>B</sub> [A]</b>	<b>I<sub>C</sub> [A]</b>	<b>RPM</b>
480,4	480,0	480,6	196,6	192,5	192,6	1787
480,4	480,0	480,3	196,6	192,5	192,6	1787
480,6	480,1	480,0	196,6	192,5	192,6	1787
480,5	480,2	480,0	196,6	192,5	192,6	1787
480,5	480,1	480,3	196,6	192,5	192,6	1787
480,6	480,2	480,6	196,6	192,5	192,6	1787
Fecha:						
Hora:						

P 109

*Tabla 3.14. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DE LA BOMBA P109*

<b>V<sub>AB</sub> [V]</b>	<b>V<sub>BC</sub> [V]</b>	<b>V<sub>AC</sub> [V]</b>	<b>I<sub>A</sub> [A]</b>	<b>I<sub>B</sub> [A]</b>	<b>I<sub>C</sub> [A]</b>	<b>RPM</b>
474	473,7	476,2	205,2	204,8	204	1787
474	473,7	476,2	205,2	204,8	204	1787
474	473,7	476,2	205,2	204,8	204	1787
474	473,7	476,2	205,2	204,8	204	1787
474	473,7	476,2	205,2	204,8	204	1787

474	473,7	476,2	205,2	204,8	204	1787
Fecha:						
Hora:						

P 108

*Tabla 3.15. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DE LA BOMBA P108*

<b>V<sub>AB</sub> [V]</b>	<b>V<sub>BC</sub> [V]</b>	<b>V<sub>AC</sub> [V]</b>	<b>I<sub>A</sub> [A]</b>	<b>I<sub>B</sub> [A]</b>	<b>I<sub>C</sub> [A]</b>	<b>RPM</b>
455	455	453	87,3	87,3	84,7	1785
455	455	453	87,3	87,3	84,7	1785
455	455	453	87,3	87,3	84,7	1785
455	455	453	87,3	87,3	84,7	1785
455	455	453	87,3	87,3	84,7	1785
455	455	453	87,3	87,3	84,7	1785
Fecha:						
Hora:						

P 107

*Tabla 3.16. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DE LA BOMBA P107*

<b>V<sub>AB</sub> [V]</b>	<b>V<sub>BC</sub> [V]</b>	<b>V<sub>AC</sub> [V]</b>	<b>I<sub>A</sub> [A]</b>	<b>I<sub>B</sub> [A]</b>	<b>I<sub>C</sub> [A]</b>	<b>RPM</b>
455	455	452	91	90,7	87,8	1787
455	455	452	91	90,7	87,8	1787

455	455	452	91	90,7	87,8	1787
455	455	452	91	90,7	87,8	1787
455	455	452	91	90,7	87,8	1787
455	455	452	91	90,7	87,8	1787
Fecha:						
Hora:						

C 101

*Tabla 3.17. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL COMPRESOR C101*

<b>V<sub>AB</sub> [V]</b>	<b>V<sub>BC</sub> [V]</b>	<b>V<sub>AC</sub> [V]</b>	<b>I<sub>A</sub> [A]</b>	<b>I<sub>B</sub> [A]</b>	<b>I<sub>C</sub> [A]</b>	<b>RPM</b>
465	462	464	14,5	13,7	14	1780
465	462	464	14,5	13,7	14	1780
465	462	464	14,5	13,7	14	1780
465	462	464	14,5	13,7	14	1780
465	462	464	14,5	13,7	14	1780
465	462	464	14,5	13,7	14	1780
Fecha:						
Hora:						

C 102

*Tabla 3.18. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL COMPRESOR C102*

<b>V<sub>AB</sub> [V]</b>	<b>V<sub>BC</sub> [V]</b>	<b>V<sub>AC</sub> [V]</b>	<b>I<sub>A</sub> [A]</b>	<b>I<sub>B</sub> [A]</b>	<b>I<sub>C</sub> [A]</b>	<b>RPM</b>
464,7	463,3	462,2	13,2	13,7	13,4	1770
464,7	463,3	462,2	13,2	13,7	13,4	1770
464,7	463,3	462,2	13,2	13,7	13,4	1770
464,7	463,3	462,2	13,2	13,7	13,4	1770

464,7	463,3	462,2	13,2	13,7	13,4	1770
464,7	463,3	462,2	13,2	13,7	13,4	1770
Fecha:						
Hora:						

V-P 101

*Tabla 3.19. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL VENTILADOR V-P 101*

<b>V AB [V]</b>	<b>V BC [V]</b>	<b>V AC [V]</b>	<b>I A [A]</b>	<b>I B [A]</b>	<b>I C [A]</b>	<b>RPM</b>
475,5	476,2	477	22,5	22,5	22,4	1785
475,5	476,2	477	22,5	22,5	22,4	1785
475,5	476,2	477	22,5	22,5	22,4	1785
475,5	476,2	477	22,5	22,5	22,4	1785
475,5	476,2	477	22,5	22,5	22,4	1785
475,5	476,2	477	22,5	22,5	22,4	1785
Fecha:						
Hora:						

V-P 102

*Tabla 3.20. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL VENTILADOR V-P 102*

<b>V AB [V]</b>	<b>V BC [V]</b>	<b>V AC [V]</b>	<b>I A [A]</b>	<b>I B [A]</b>	<b>I C [A]</b>	<b>RPM</b>
470,3	472,6	470,1	23,5	22	22,9	1785
470,3	472,6	470,1	23,5	22	22,9	1785
470,3	472,6	470,1	23,5	22	22,9	1785
470,3	472,6	470,1	23,5	22	22,9	1785
470,3	472,6	470,1	23,5	22	22,9	1785
470,3	472,6	470,1	23,5	22	22,9	1785
Fecha:						
Hora:						

V-P 103

*Tabla 3.21. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL VENTILADOR V-P 103*

<b>V AB [V]</b>	<b>V BC [V]</b>	<b>V AC [V]</b>	<b>I A [A]</b>	<b>I B [A]</b>	<b>I C [A]</b>	<b>RPM</b>
475,5	476,2	477	22,5	22,5	22,4	1785
475,5	476,2	477	22,5	22,5	22,4	1785
475,5	476,2	477	22,5	22,5	22,4	1785
475,5	476,2	477	22,5	22,5	22,4	1785
475,5	476,2	477	22,5	22,5	22,4	1785
475,5	476,2	477	22,5	22,5	22,4	1785
Fecha:						
Hora:						

**MCI**

P 101

*Tabla 3.22. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA BOMBA P101*

<b>Puntos</b>	<b><math>\Delta p</math> [mmH<sub>2</sub>O]</b>	<b>T amb [°C]</b>	<b>T stack [°C]</b>	<b>%CO<sub>2</sub></b>	<b>%O<sub>2</sub></b>
1	38	34,9	349	5,03	13,16
2	38	35,9	349	5,02	13,18
3	40	34,0	351	5,00	13,16
4	40	35,0	351	5,00	13,13
5	40	34,9	351	5,00	13,16
6	40	34,2	351	5,03	13,16

P 102

*Tabla 3.23. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA BOMBA P102*

<b>Puntos</b>	<b><math>\Delta p</math> [mmH<sub>2</sub>O]</b>	<b>T amb [°C]</b>	<b>T stack [°C]</b>	<b>%CO<sub>2</sub></b>	<b>%O<sub>2</sub></b>
1	30	33,20	354	5,96	12,99
2	30	33,00	354	5,99	12,95
3	30	35,00	355	5,92	13,04
4	32	35,00	355	5,97	12,98
5	32	35,40	355	6,04	12,98
6	32	35,10	355	6,01	12,92

P 103

*Tabla 3.24. MEDICIONES DE CAMPO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA BOMBA*

<b>Puntos</b>	<b><math>\Delta p</math> [mmH<sub>2</sub>O]</b>	<b>T amb [°C]</b>	<b>T stack [°C]</b>	<b>%CO<sub>2</sub></b>	<b>%O<sub>2</sub></b>
1	36	30,7	332	4,95	14,34
2	36	29,7	332	4,89	14,41
3	38	29,7	331	4,89	14,42
4	38	29,9	331	4,87	14,44
5	38	29,4	331	4,88	14,44
6	38	29,5	331	4,88	14,43

### **Compresores**

**C 101**

*Tabla 3.25. MEDICIONES DE CAMPO DE ENCENDIDO Y APAGADO AUTOMÁTICO DEL MOTOR DEL COMPRESOR C 101*

<b>T on [min]</b>	<b>T off [min]</b>	<b>P<sub>máx</sub> [psi]</b>	<b>P<sub>mín</sub> [psi]</b>	<b>Temp amb</b>
8,37	24,53	347	250	30
8,67	24,78	347	250	30

### **Multiplicador**

P 101

*Tabla 3.26. MEDICIONES DE CAMPO DE LA CAJA DEL MULTIPLICADOR DE LA BOMBA P 101*

<b>T1 [°C]</b>	<b>T2 [°C]</b>	<b>T3 [°C]</b>	<b>Vel baja[rpm]</b>	<b>Vel alta[rpm]</b>
44,7	54,8	63,2	634	2827,64

P 102

*Tabla 3.27. MEDICIONES DE CAMPO DE LA CAJA DEL MULTIPLICADOR DE LA BOMBA P 102*

<b>T1 [°C]</b>	<b>T2 [°C]</b>	<b>T3 [°C]</b>	<b>Vel baja[rpm]</b>	<b>Vel alta[rpm]</b>
44,9	55,04	63,6	644	2872,24

*Tabla 3.28. MEDICIONES DE CAMPO DE LA CAJA DEL MULTIPLICADOR DE LA BOMBA P 107*

<b>T1 [°C]</b>	<b>T2 [°C]</b>	<b>T3 [°C]</b>	<b>Vel baja[rpm]</b>	<b>Vel alta[rpm]</b>
46,06	56,4	72,83	650	2899

## CAPÍTULO IV

### **4. DETERMINACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, PÉRDIDAS Y DESPILFARROS DE ENERGÍA EN EQUIPOS Y PROCESOS.**

En esta parte de la investigación se realizan los cálculos para encontrar la eficiencia energética, pérdidas y despilfarros en los equipos que sea posible hacerlo. Este trabajo se hará de forma directa o indirecta; es decir, directamente, si las condiciones están dadas para que la evaluación se realice mediante la medición de algunos parámetros al equipo e indirectamente cuando no se pueda hacer las mediciones solo al equipo sino a un sistema que está compuesto del equipo de interés.

#### **4.1. Sistema de abastecimiento Eléctrico.**

Esta parte de la estación es una de las no se puede evaluar directamente pues no se cuenta con instrumentos de medición en alto voltaje, como son: transformadores de potencia y corriente principalmente.

Entonces, lo que sí se puede hacer, es partir de la premisa de que “toda pérdida de energía en un sistema energético se presenta en forma de calor al sumidero” e inferir que: si la temperatura de la superficie de los transformadores es normal significará que estos están funcionando bien y no hay más pérdidas que las esperadas. Precisamente eso es lo que se comprobó al realizar el recorrido por la subestación en compañía del técnico eléctrico y medir la temperatura de la superficie de los transformadores con la ayuda de un termómetro infrarrojo.

#### **4.2. Sistemas de potencia.**

Los sistemas de potencia son los encargados de otorgar energía mecánica al eje de los equipos rotodinámicos y de desplazamiento positivo que existen en la estación. La mayoría de estos son motores que consumen electricidad y un grupo más pequeño en número pero importante en potencia, son MCI que, evidentemente, tienen en el combustible su fuente de energía. Por la naturaleza de su portador energético, se va a dividir los sistemas de potencia así:

- Sistema de potencia eléctrica
- Sistema de potencia térmica



#### 4.2.1. Sistema de potencia eléctrico

En este conjunto caen los motores eléctricos, todos de inducción, que impulsan las bombas, compresores y ventiladores principales de la planta.

##### *Motor P 104*

Este es el motor más importante de nuestro análisis pues es el que mayor tiempo trabaja y consume la más alta cantidad de energía.

Sus características técnicas aparecen en los datos de placa del Anexo 8. Es un motor de inducción alimentado por un variador de frecuencia que alimenta a una bomba centrífuga de seis etapas.

Para la determinación de su eficiencia no se cuenta con los instrumentos de alto voltaje requeridos, entonces, su caracterización se hará como parte del Sistema A en un análisis posterior en este mismo capítulo.

##### *Motores eléctricos*

Mediante la aplicación de la teoría que aparece en el capítulo II, para la evaluación de motores eléctricos, los datos de placa y utilizando los datos obtenidos en el campo tabulados en el capítulo III se encuentran los valores que aparecen en la tabla 4.1 y se calcula de la forma siguiente:

*Tabla 4.1: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE MOTORES ELÉCTRICOS*

Motor	V avg	I avg	% Amp	% Carga	Pi [Kw]	Eficie [%]
P 109	480,3	193,6	84,2	87,9	138,5	94,6
P 110	474,6	204,7	89,0	91,8	144,7	94,6
P 107	454,3	86,4	77,2	58,5	57,8	75,5
P 108	454,0	89,8	80,2	63,3	60,0	78,6
C 101	463,7	14,1	62,5	63,0	9,4	89,2
C 102	463,4	13,4	71,8	72,4	9,1	88,2

#### 4.2.2. Sistema de potencia térmico

Para este análisis es necesaria la teoría desarrollada en el capítulo II, los datos técnicos de cada equipo y las mediciones realizadas que aparecen en el capítulo III. Esta parte solo se enfoca en encontrar el consumo de combustible de cada MCI entendida como la potencia de entrada, en una parte posterior de este mismo capítulo se encuentra, indirectamente, la potencia que entrega el motor y así encontrar la eficiencia.

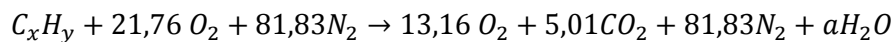
Se encuentra la composición del hidrocarburo  $C_xH_y$  con los productos de la combustión que se obtiene en el analizador de gases. En el cual se tiene de forma volumétrica el %  $O_2$  y el %  $CO_2$ ; se encuentra el % de  $N_2$ . Se realiza todos los cálculos para el P 101, para los otros dos motores será el mismo análisis solo que con diferentes datos. Los % de  $O_2$  y de  $CO_2$  se los obtienen del capítulo III, que es donde se encuentran tabulados los promedios de los datos de los productos de la combustión.

$$\% N_2 = 100\% - (\% O_2 + \% CO_2)$$

$$\% N_2 = 100\% - (13,16\% + 5,01\%)$$

$$\% N_2 = 81,83\%$$

*Reactivos → Productos*



Al balancear se encuentran los valores de  $a$ ,  $x$  y de  $y$ .

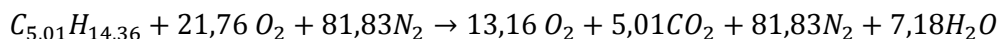
$$C: x = 5,01$$

$$O_2: 2(21,76) = 2(13,16) + 2(5,01) + a \rightarrow a = 7,18$$

$$H_2: y = 2a \rightarrow y = 14,36$$

En consecuencia, queda un hidrocarburo de la siguiente composición:  $C_{5,01}H_{14,36}$

Una vez obtenido en combustible, y como ya se tiene el comburente, se encuentra la ecuación balanceada de la combustión.



Se encuentra la relación aire combustible:

La masa del combustible que interviene es:

$$m_f = 12 * 5,01 + 1 * 14,36 = 74,84Kg_{combust.}$$

La masa del aire que interviene es:

$$m_a = 103,59 * 29 = 3004,11 Kg_{aire}$$

$$r_{a/f} = \frac{3004,3}{74,48} = 40,09 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{combust}}$$

Luego se determina la velocidad de los gases de combustión, para lo cual, se utiliza la ecuación 2.2:

$$V_{gas} = K_p C_p (\sqrt{\Delta p})_{prom} \sqrt{\frac{T_{chim}}{P_s M_s}}$$

Se obtiene los valores ya calculados de todas las variables:

**Tabla 4-2: VALORES DE VARIABLES Y CONSTANTES NECESARIAS PARA CALCULAR LA VELOCIDAD DE GASES DE COMBUSTIÓN**

$K_p$	34,97	m/s ((g/g-mol)(mm Hg)/((mm H <sub>2</sub> O)(°K))) <sup>1/2</sup>
$C_p$	0,84	
$(\sqrt{\Delta p})_{prom}$	39,3	mmH <sub>2</sub> O
$T_{chim}$	623,3	K
$P_s$	760,41	mmHg
$M_s$	28,6	g/gmol
$V_{gas}$	<b>31,21</b>	<b>m/s</b>

Se calcula la densidad de los gases de escape con la ecuación 2.3 o ecuación de estado:

$$\rho = \frac{p}{RT}$$

Pero, primero se encuentra el valor de R de la mezcla mediante la ecuación 2.4

$$R = \sum x_i * R_i$$

**Tabla 4.3: VALORES DE PARÁMETROS PARA CALCULAR LA DENSIDAD DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN**

R	298,3	J/KgK
T	623,3	K
P	102071,61	Pa
<b>Densidad</b>	<b>0,548941861</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>

Se encuentra el flujo de los gases de combustión ya que se conoce el área de la sección la velocidad y la densidad lo cual se representa en la tabla 4-4 para encontrar el flujo:

**Tabla 4.4:** RESUMEN DE CÁLCULOS PARCIALES PARA CALCULAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Diámetro	0,3	m
Área	0,070685835	m <sup>2</sup>
Velocidad	31,21	m/s
Densidad	0,548941861	Kg/m <sup>3</sup>

$$\dot{m}_{gas} = A * V_{gas} * \rho$$

$$\dot{m}_{gas} = \frac{\pi * D^2}{4} * V_{gas} * \rho$$

$$\dot{m}_{gas} = 0,070685m^2 * 31,21 \frac{m}{s} * 0,548941 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_{gas} = 0,2108761 \frac{Kg}{s}$$

Se utiliza el flujo de los gases de combustión y relacionando con la relación aire – combustible se obtiene el consumo de combustible:

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{m}_{gas}}{1 + r_{a/f}} = \frac{1,21 \frac{Kg}{s}}{1 + 40,09} = 0,02946 \frac{Kg}{s}$$

$$\dot{m}_f = 106091,163 \frac{g}{h}$$

$$\dot{m}_f = 32,81 \frac{gal}{h}$$

En la siguiente tabla se mostraran todos los valores obtenidos para cada motor:

**Tabla 4.5:** RESULTADOS PROVENIENTES DEL ANÁLISIS DE LOS GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN

Parámetros	P101	P102	P103
Relación aire combustible	40,09	36,01	43,75
Densidad Kg/m <sup>3</sup>	0,5489411	0,5521681	0,59120174
Velocidad m/s	31,21	27,63	30,17
Flujo Kg/s	1,210	1,078	1,261

Consumo gal/h	32,81	32,44	31,37
---------------	-------	-------	-------

#### 4.3. Sistemas de aire comprimido.

Un punto de trascendental importancia en la evaluación del sistema de aire comprimido es la determinación de la cantidad de fugas que existen. Con la teoría sugerida en el capítulo II para la determinación de fugas, la breve descripción del sistema, y la medición de los tiempos de encendido y apagado del motocompresor en el capítulo III se evalúa el sistema de aire comprimido. Se encuentran las fugas determinando primero el volumen total de la instalación que recepta el aire comprimido. Este volumen es el de los tanques acumuladores más las tuberías de distribución hasta las válvulas de arranque; el resto del sistema no se considera (lo conforma el sistema de arranque interno del motor que queda luego de las válvulas de arranque) porque, simplemente, no interviene en el cálculo de las fugas.

Las dimensiones de la instalación son:

- 45 metros de tubería de 1" (26.6mm) de diámetro.
- 18 metros de tubería de ¾" (21mm) de diámetro.
- 2 acumuladores de 250 L

Luego el volumen es:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

Donde;  $V$  = Volumen total de aire del sistema de aire comprimido

$V_1$  = Volumen de aire contenido en los 45 m de tubería de 1"

$V_2$  = volumen de aire contenido en los 18 m de tubería de ¾"

$V_3$  = volumen de aire contenido en los 2 acumuladores de 250 lt

$$V_1 = \frac{\pi * D_1^2}{4} = \frac{\pi * 0,0266^2}{4} * 45 = 0,0786m^3$$

$$V_2 = \frac{\pi * D_2^2}{4} = \frac{\pi * 0,021^2}{4} * 18 = 0,006324m^3$$

$$V_3 = 2 * 250 * 0,001m^3 = 0,5m^3$$

$$V = 0,0786 + 0,006324 + 0,5 = 0,5848m^3$$

Como,

$$\Delta \dot{m} = \frac{V}{tR} \left( \frac{p_2}{Z_2 T_2} - \frac{p_1}{Z_1 T_1} \right)$$

El valor de  $p_2$  es 350psi y  $p_1$  es 250 psi. La temperatura  $T_2$  se asume que es la del ambiente pues luego de 20 o 30 min ya se ha dado el equilibrio térmico; en cambio para  $T_1$ , su determinación se la hace con la temperatura final de compresión en un proceso isentrópico, tomando como presión máxima el promedio entre  $p_1$  y  $p_2$  y se restan unos 15 °C por transferencia de calor hacia el ambiente y tuberías de distribución. Los valores de  $Z_1$  y  $Z_2$  se hallan con la ayuda del nomograma para el factor de compresibilidad y las propiedades reducidas  $p_R$  y  $T_R$ .

$$p_2 = 350psi$$

$$p_1 = 250psi$$

$$T_1 = T_{amb} = 30^0C$$

$$T_2 = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 10$$

$$T_2 = 303 \left( \frac{\frac{350 + 250}{2}}{250} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 10$$

$$T_2 = 309,2^0K = 36,2^0C$$

$$p_{R1} = \frac{250}{546,68929} = 0,4572$$

$$p_{R2} = \frac{350}{546,68929} = 0,6402$$

$$T_{R1} = \frac{303}{308,88889} = 0,98$$

$$T_{R2} = \frac{309,2}{308,88889} = 1,001$$

Entonces,

$$Z_1 = 0,8$$

$$Z_2 = 0,73$$

$$\Delta \dot{m} = \frac{0,5848}{24,655 * 461,61} \left( \frac{2413165,0526}{0,73 * 309,2} - \frac{1723689,3232}{0,8 * 303} \right)$$

Por lo tanto;

$$\Delta \dot{m} = 0,183966053 \text{ Kg}/\text{min}$$

$$\Delta \dot{m} = 11,038 \text{ Kg}/\text{h}$$

#### 4.3.1. Costo del aire comprimido

La potencia de los compresores son 9,4 y 9,1 Kw para el C 101 y C 102 respectivamente. Entonces el consumo por kg de aire comprimido es de:

$$\text{Consumo específico} = \frac{9,1}{11,038} = 0,8244 \text{ Kw} - \text{h}/\text{Kg}_{\text{aire}}$$

Luego el costo de comprimir un Kg de aire es de:

$$\text{Costo} = 0,8244 * 0,071 = 0,058534 \text{ \$/Kg}_{\text{aire}}$$

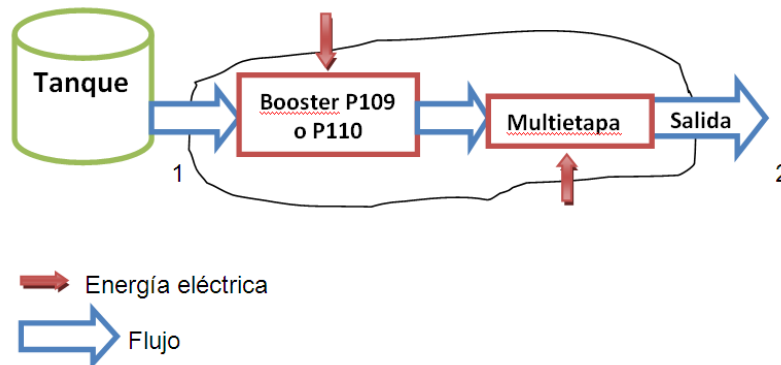
Es decir que en un día, en las actuales condiciones del sistema, este cuesta lo siguiente: En un día de 1440 minutos el ciclo de encendido y apagado de 33,18 min se da 43 veces, es decir, que se encenderá durante 8,52 min este mismo número de veces, o sea, 366,6 min o 6,106 horas por día. Entonces, a la potencia de 9,1 Kw por el tiempo de funcionamiento diario 6,106 h da un consumo diario de 55,56 Kw-h, como el precio del Kw-h es de 0,071 dólares, el precio diario de la energía que necesita el sistema de aire comprimido debido a las fugas es de 3,95 dólares.

#### 4.4. Sistemas de bombeo

A continuación se realiza una evaluación de los componentes de mayor importancia dentro de este complejo industrial, como son, los sistemas de bombeo, tanto el principal que es impulsado por un motor eléctrico de 2500Hp como el secundario que cuenta con tres MCI de 1000 Hp cada uno.

##### 4.4.1. Sistema A

Los datos que arroja la medición hecha, en todos los componentes del Sistema A aparecen en el capítulo III. El tratamiento que se le dio a esta información para poder determinar la eficiencia de todo el conjunto fue:



*Figura 4.1: Esquema del sistema A*

Con la ayuda del esquema limitado por la frontera del sistema de la figura 4.1 se puede ver que la energía eléctrica que ingresa aparece en el indicador de la subestación:  $P_{\text{eléctrica}} = 1167$  Kw, además, que la de flujo que ingresa a la booster en 1. Y la que sale no es nada más que la potencia de flujo en 2.

Entonces,

$$P_{\text{entrada}} = P_{\text{eléctrico}} + P_{\text{flujo1}} = 1167 + P_{\text{flujo1}}$$

$$P_{\text{flujo1}} = p_e Q_e = 7722,13 * 109,26 * 10^{-3} = 32,4 \text{ Kw}$$

$$P_{\text{entrada}} = P_{\text{eléctrico}} + P_{\text{flujo1}} = 1167 + 32,4 = 1199,4 \text{ Kw}$$

$$P_{\text{flujo2}} = p_s Q_s = 296,47 * 109,26 * 10^{-3} = 843,72 \text{ Kw}$$

Donde,  $p_s$ ,  $p_e$ ,  $Q_s$  y  $Q_e$ , Son los valores de presión en [KPa] y caudal en [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] a la entrada (e) y salida (s).

Consecuentemente,

$$\eta_{\text{sistema A}} = \frac{P_{\text{flujo2}}}{P_{\text{entrada}}} * 100\% = \frac{843,72}{1199,4} * 100\% = 70,3\%$$

### **Eficiencia y potencia de la bomba**



Por medio de la teoría detallada en el capítulo II, los datos encontrados en el capítulo III, sobre la operación de la bomba, y las características de selección del equipo otorgadas por el fabricante. El procedimiento realizado y los resultados para encontrar los dos valores en análisis aparecen en el siguiente inciso en el cálculo de la eficiencia de la bomba P 101, este método es semejante al utilizado para encontrar los mismos términos en la bomba P 104.

### **Eficiencia y potencia del motor eléctrico**

Para el caso del análisis del motor eléctrico se tuvo que realizar mediciones simultáneas en la subestación, variador de frecuencia y sala de operaciones de la bomba en procura de obtener un rendimiento lo más cercano a la realidad pero indirectamente.

Los datos obtenidos solo para este caso especial en el trabajo realizado son:

*Operación de bomba*

n= 3151,9 rpm

Q= 2412,8 Brr/h

p<sub>s</sub>= 113,1 psi

p<sub>d</sub>= 1201,1 psi

Se encuentra la potencia en el eje de la que es de 1 235 Kw.

*Subestación*

P<sub>sub</sub> = 1 398.8 Kw

Como en la subestación está un medidor de energía que muestra la potencia del motor de la P 104 y la P 110, se concluye que la diferencia entre la potencia que marca la subestación y la que está consumiendo la booster P 110 es la potencia del motor de la P 104.

$$P_{104} = 1398 - 138,5 = 1260,3Kw$$

Consecuentemente, la eficiencia es:

$$\eta_{motor} = \frac{1235}{1260,3} * 100\% = 97\%$$

**Costo de bombeo del Sistema A**

En las condiciones que muestran los datos de la subestación del capítulo III. La potencia promedio que consume el Sistema A es de 1254 Kw, el caudal promedio es de 2452 barr/h. Entonces el consumo por barril bombeado es:

$$\text{Consumo} = \frac{1254}{2452} = 0,511419 \text{ Kw} - h/\text{barr}$$

El costo del Kw-h es de 0,071 dólares aproximadamente, entonces, el costo de bombeo de este sistema es:

$$\text{Costo} = 0,511419 * 0,071 = 0,0363 \text{ \$/barr}$$

El costo energético anual de bombeo de este sistema se halla considerando la producción anual que para el 2008 fue de 20 155 830 barr, la gráfica 3.22 explica que el 88% de esta producción fue bombeado con el Sistema A, entonces, el costo anual de bombeo de este es:

$$\text{Costo anual} = 20\ 155\ 830 * 0,88 * 0,0363 = 643\ 858 \text{ \$}$$

#### 4.4.2. Sistema B

En el caso del sistema con los MWM 440. Los datos que nos permiten las condiciones llevan al siguiente tratamiento de esto para obtener el resultado de la eficiencia

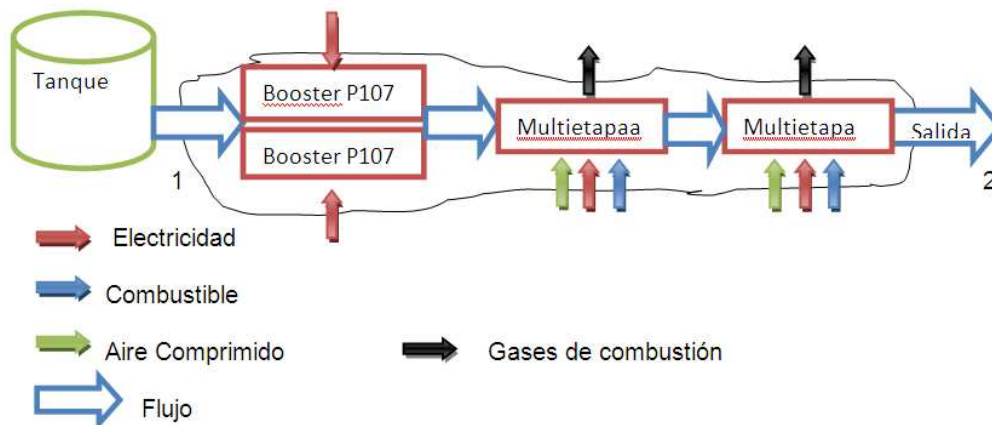


Figura 4.2: Esquema del Sistema B

La energía que entra al sistema es la de flujo en uno, la eléctrica que ocupa el ventilador del radiador y las booster que funcionan en paralelo, por último, ingresa la energía

térmica proporcionada por el combustible (Diesel 2) al motor MWM-440. Otra energía que entra es la del aire comprimido para el arranque de los motores, esta no puede ser tomada en cuenta en el balance energético para encontrar la eficiencia pero pues solo sirve para el arranque del motor, además, esta está evaluada pero de forma aislada.

En cuanto a la energía que sale del sistema son tres principales la de flujo en la descarga de la última bomba multietapa, la de los gases de combustión y las pérdidas de calor por transferencia al sumidero. De todas las energías que salen la única que sirve para determinar el rendimiento de bombeo es la de flujo, entonces, las otras se consideran como pérdidas.

Las energías de flujo de entrada y salida del sistema son:

$$P_{flujo1} = p_e Q_e = 296,47 * 71,41 * 10^{-3} = 21,17Kw$$

$$P_{flujo2} = p_s Q_s = 6366,14 * 66,98 * 10^{-3} = 426,4Kw$$

La energía eléctrica que entra a este sistema es:

$$P_{booster} = \frac{\sqrt{3} * V * I * FP}{1000}$$

$$P_{booster 107} = \frac{\sqrt{3} * 454,3 * 86,4 * 0,85}{1000} = 57,8Kw$$

$$P_{booster 108} = \frac{\sqrt{3} * 454,0 * 89,8 * 0,85}{1000} = 60Kw$$

$$P_{ventilador} = \frac{\sqrt{3} * V * I * FP}{1000}$$

$$P_{ventilador P101} = \frac{\sqrt{3} * 462,1 * 23,5 * 0,82}{1000} = 15,4Kw$$

$$P_{ventilador P103} = \frac{\sqrt{3} * 460,1 * 23,8 * 0,82}{1000} = 15,55Kw$$

$$P_{eléctrica} = 57,8 + 60 + 15,4 + 15,55 = 148,7Kw$$

La última energía que entra es la térmica. Considerando el consumo de combustible que se calculó en la sección 4.2.2. y el poder calorífico del Diesel 2 se encuentra la energía térmica que ingresa al sistema:

$$C_{P101} = 0,029469768 \text{ Kg/s}$$

$$C_{P103} = 0,02817861 \text{ Kg/s}$$

$$q_p = 43361,7 \text{ KJ/Kg}$$

Entonces,

$$P_{t\acute{e}rmica P101} = 26,5 * 10^{-3} * 43361,7 = 1277,86Kw$$

$$P_{t\acute{e}rmica P103} = 28,2 * 10^{-3} * 43361,7 = 1221,87Kw$$

$$P_{t\acute{e}rmica} = P_{t\acute{e}rmica P101} + P_{t\acute{e}rmica P103} = 2499,73Kw$$

Finalmente,

$$\eta_{Sistema B} = \frac{P_{flujo 2}}{P_{el\acute{e}ctrica} + P_{t\acute{e}rmica} + P_{flujo 1}} * 100\% = \frac{426,4}{178,75 + 2499,73 + 21,17} * 100\%$$

$$\eta_{Sistema B} = 15,79 \%$$

### **Eficiencia y potencia de la bomba**

Por medio del procedimiento teórico descrito en el capítulo II, de los datos encontrados en el capítulo III, sobre la operación de la bomba, y las características de selección del equipo, otorgadas por el fabricante, se puede determinar la eficiencia de la bomba.

$$P_{eje'} = P_{eje} \left( \frac{n'}{n} \right)^3 = 621 \left( \frac{2631,4}{3700} \right)^3 = 223,39Kw$$

$$P_{flujo} = 0,304494 * \Delta p * Q = 0,304494 * (475 - 130) * 1538,3 = 161,6Kw$$

$$\eta_{bomba} = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} * 100\% = \frac{161,6}{223,39} * 100\% = 72,3\%$$

La siguiente tabla muestra los rendimientos de las bombas que son impulsadas por MCI y eléctricos.

**Tabla 4.6: EFICIENCIAS Y POTENCIAS EN EL EJE DE LAS BOMBAS MULTIETAPA PRINCIPALES.**

Bomba	Rendimiento [%]	Potencia [Kw]
P 101	72,3	223,39
P 102	59,8	234,92
P 103	74,7	241,22
P 104	74,3	1416,2

Consecuentemente, la potencia que entrega el multiplicador al eje de la bomba es:

$$P_{Multipl\acute{c}} = \frac{P_{flujo}}{\eta_{bomba}} = 223,39Kw$$

### Eficiencia y potencia de la caja multiplicadora

Para determinar el rendimiento de la caja se parte del procedimiento del capítulo II, los datos obtenidos en el campo y mostrados en el capítulo III.

$$R_1 = T_2 - T_1 = 54,8 - 44,7 = 10,1^{\circ}C$$

$$R_2 = T_3 - T_2 = 63,2 - 54,8 = 8,4^{\circ}C$$

$$T_e = T_3 + \frac{R_2^2}{R_2 - R_1} = 67^{\circ}C$$

$$\Delta T_e = T_e - T_a = 67 - 30 = 37^{\circ}C$$

$$Q = c * A * (\Delta T_e + 16,5) = 0,02 * 3,08 * (37 + 16,5) = 3,30 * C_v = 2,46Kw$$

$$\eta_{caja} = \frac{N_b}{N_b + Q} * 100\% = \frac{223,39}{223,39 + 2,46} * 100\% = 98,91\%$$

Entonces, la potencia que entrega el motor a la caja es:

$$P_{motor} = \frac{P_{multiplic}}{\eta_{multiplic}} = \frac{223,39}{0,989} = 225,87Kw$$

### Eficiencia del M.C.I.

La norma ISO 3046 parte 1 dice que para un motor de 900 rpm y 995 Kw el consumo específico de combustible es 194 g/Kwh. Es decir, en este caso, el consumo específico debe ser

menor pues la potencia nominal es de 772 Kw a 900 rpm. Para una mejor exposición de lo que implica encontrar el rendimiento de los MCI se observa la siguiente grafica:

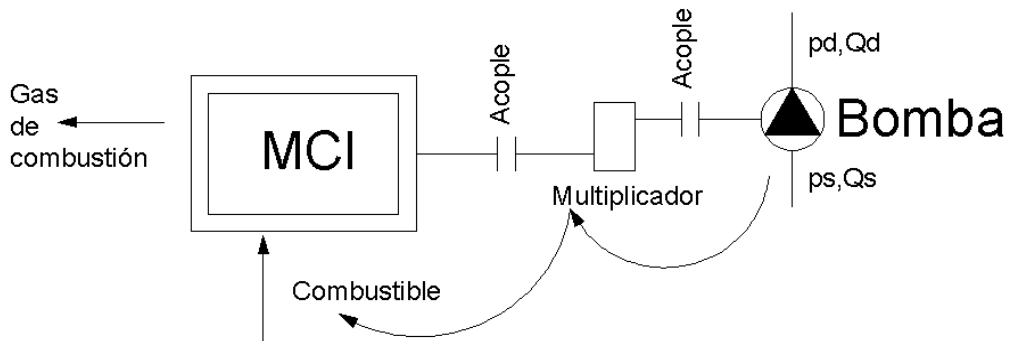


Figura 4.3: Esquema de grupo motobomba a diesel.

Con los datos de consumo de combustible, anteriormente en este capítulo encontrado, se puede ya encontrar la eficiencia de los motores de combustión interna, con la sencilla ecuación:

$$\eta_{M.C.I.} = \frac{P_{motor}}{m * q_v} * 100\% = \frac{225,87}{0,02947 * 43362} * 100\% = 17,7\%$$

### Consumo específico

El consumo en masa de combustible es de 106 091,16 g/h. La potencia que entrega el motor es 225,85Kw.

$$C_{especifico} = \frac{106091,16}{225,85} = 469,7 \frac{g}{Kw - h}$$

A continuación, en una tabla, aparece el resumen de los resultados de esta parte.

Tabla 4.7: RESULTADOS DE POTENCIA, EFICIENCIA Y CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE DE LOS MOTORES MWM 440 6K

Equipo	P 101	P 102	P 103
Potencia [Kw]	225,85	237,40	244,41
Eficiencia [%]	17,67	18,79	20,00
Consumo esp. [g/Kw-h]	469,7	441,9	415,0

### Costo de bombeo del sistema B

Para el caso específico en el que entran en funcionamiento los grupos P 101 y P 103, la potencia térmica es de 2499,73 Kw y la potencia eléctrica de 178,75 Kw. El caudal es de 1643,3 barr/h. El consumo de la P 101 es 32,81 gal/h y de la P 103 de 31,38 gal/h, es decir, que el consumo de bombeo de ambos es 64,19 gal/h. Entonces, el consumo de diesel por barril bombeado es:

$$\text{Consumo} = \frac{69,19}{1643,3} = 0,039061 \text{ gal/barril}$$

El costo del galón de combustible es de 0,900704 dólares

$$\text{Costo 1} = 0,039061 * 0,9007 = 0,03518 \text{ \$/barril}$$

El consumo de electricidad es de:

$$\text{Consumo} = \frac{178,75}{1643,3} = 0,1088 \text{ Kw-h/barril}$$

$$\text{Costo 2} = 0,071 * 0,1088 = 0,00772 \text{ \$/barril}$$

$$\text{Costo Interno} = \text{Costo 1} + \text{Costo 2} = 0,035181 + 0,007725 = 0,042906 \text{ \$/barril}$$

El costo energético anual de este sistema se encuentra considerando que la producción anual de la estación en el 2008 fue de 20 155 830 barr, este sistema bombea el 12% del tiempo en el mismo año y el costo interno energético de bombeo es 0,042906 \$/barr.

$$\text{Costo anual int} = 20\ 155\ 830 * 0,12 * 0,042\ 906 = 103\ 777 \text{ \$}$$

Luego, si a esto se le suma el costo ambiental, sugerido por el Proyecto ExternE<sup>3</sup> de la Comisión Europea, que es de 0,04197 \$ /Kw-h en generación de energía térmica proveniente del petróleo, se tiene lo siguiente:

Como la potencia térmica es de 2 499,7 Kw y el caudal es de 1 643,3 barr/h, entonces, el costo por barril es de

---

<sup>3</sup> Se puede encontrar esta información en la dirección que aparecen la linkografía numeral 5.

$$\text{Consumo} = \frac{2499,7}{1643,3} = 1,5211 \text{ Kw} - h/\text{barril}$$

$$\text{Costo Externo} = 0,04197 * 1,5211 = 0,06384 \text{ \$/barril}$$

Finalmente el costo total es de

$$\text{Costo Total} = \text{Costo Interno} + \text{Costo Externo}$$

$$\text{Costo Total} = 0,042906 + 0,06384 = 0,1067 \text{ \$/barril}$$

El costo energético anual de este sistema se encuentra considerando que la producción anual de la estación en el 2008 fue de 20 155 830 barr, este sistema bombeo el 12% del tiempo en el mismo año y el costo total energético de bombeo es 0,1067 \$/barr

$$\text{Costo anual tot} = 20\ 155\ 830 * 0,12 * 0,1067 = 258\ 075\$$$



## CAPÍTULO V

### **5. IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES DE AHORRO ENERGÉTICO Y ECONÓMICO**

A partir de los resultados obtenidos en los dos capítulos anteriores se puede ya encontrar las oportunidades energéticas que presenta la estación de bombeo.

#### **5.1. Sistemas de abastecimiento Eléctrico**

El sistema de abastecimiento eléctrico compuesto por la subestación y esta, a su vez, por transformadores no presenta ningún comportamiento fuera de lo normal. Además, los equipos de medición en alta tensión no están al alcance como para hacer un diagnóstico de la calidad de energía que es recibida por la planta. Por estas razones no se puede sugerir nada por medio de la ponderación de su eficiencia.

Por otro lado, lo que sí se puede y debe hacerse es un análisis de la calidad, cantidad y fiabilidad de abastecimiento eléctrico.

La calidad de la electricidad puede tener, en el análisis de los armónicos, su principal parámetro de consideración. Se sabe que los armónicos tienen relación directa con la vibración de los motores eléctricos y más cuando el flujo cambia su frecuencia por medio de un variador, como es este caso. Un análisis de este tipo se hace necesario para eliminar la incertidumbre en esta parte.

La cantidad de electricidad tiene relación directa con la capacidad de la oferta en proveer a la planta de la potencia que necesita. Los dos proveedores de energía eléctrica con que cuenta la estación son el SNI y REE. El primero abastece el Sistema A y el segundo se encarga del Sistema B y todo el consumo complementario en edificios y equipos auxiliares. Una observación y comunicación continua con los proveedores se hace necesaria para planificar las operaciones con más precisión.

La fiabilidad de la energía eléctrica se refiere al aseguramiento de un abastecimiento continuo y sin fallas. En este caso, los datos obtenidos arrojan que en el año 2008 las paradas por fallas eléctricas fueron de 15.43 horas distribuidas en 11 meses (anexo 10). Estos datos demuestran baja de fiabilidad en el sistema de abastecimiento eléctrico. Aumentar la

confiabilidad del sistema de abastecimiento eléctrico se convierte en una oportunidad crucial para asegurar el incremento de la eficiencia energética del complejo industrial. Aquí toda la responsabilidad recae en la alta dirección de la empresa, pues son ellos los que tienen que gestionar conjuntamente con los directores de las empresas abastecedoras, un sistema de comunicación efectiva para asegurar, por un lado, que se provea de energía eléctrica con las menores fallas posibles, y también, que se prevea las fallas o desabastecimientos que se darán en una de las abastecedoras para así eliminar esa incertidumbre y pasar del mantenimiento reactivo a uno más moderno como es el mantenimiento proactivo, es decir, el sistema de gestión de los activos de la planta tiene que pasar de las tareas de emergencia súbitas a acciones más planificadas en función de la notificación de parte de las empresas que proveen de energía eléctrica a la estación.

## **5.2. Sistemas de potencia**

### **5.2.1. Motores eléctricos**

El principal motor de la estación es el que conforma el conjunto motobomba P 104. Este muestra una eficiencia de 97% lo que está muy bien, considerando que tiene aproximadamente trece años desde su instalación como nuevo.

Los motores de las bombas booster muestran un buen rendimiento y todas aproximadamente del 94%.

Los motores que presentan eficiencias relativamente bajas son los que conforman el motocompresor. Puede ser que un cambio de motor a otro más eficiente sea una buena opción de conservación de energía.

### **5.2.2. Motores MWM 440 6k**

El consumo específico de cada uno de los motores a diesel es de 32,81; 32,44 y 31,37 gal/h para los grupos P 101, P 102 y P 103 respectivamente. El consumo específico de combustible hallado es demasiado alto. En comparación con la norma ISO 3046 parte 1 (Anexo 9), este es más que el doble exigido.

Por los hechos observados el caso de los motores a diesel MWM 440 6k es el más preocupante pues resulta inconveniente ambiental, económica y energéticamente para los fines de la empresa y el país.

### **5.2.3. Caja de velocidades**

Las cajas de velocidades muestran un rendimiento por encima de 98% que es muy bueno, considerando la antigüedad de su uso y, por esta razón, no hay cambios que realizar en esta máquina.

### **5.3. Sistemas de aire comprimido**

Las fugas de aire comprimido que presenta esta instalación son de 0,183966 Kg/min. El costo por kg de aire comprimido generado por este sistema es de 0,05853 \$/Kg, es decir, diariamente este cuesta 3,95 dólares aproximadamente.

En esta parte se puede observar que una de la fallas de la gestión de la energía es que el aire comprimido no se utiliza solo para lo que fue diseñado e instalado el sistema de aire comprimido. Entonces, una adquisición de un motocompresor móvil y de menor capacidad para los demás usos que se presentan en la planta es una potencial medida de ahorro.

Por el estado de la tubería de distribución de aire se puede sugerir también el reemplazo de esta para disminuir las fugas existentes.

### **5.4. Sistemas de bombeo**

#### **5.4.1. Sistema A**

En los cálculos realizados en el capítulo IV se obtuvo un rendimiento del 70% para este sistema de bombeo. El costo de bombeo por barril bombeado es de 0,0363 \$/barr. La bomba P 104 tiene un rendimiento del 74% aproximadamente y se considera que es aceptable porque se encuentra funcionando dentro de los rangos de eficiencia adecuados.

Otro de los componentes importantes del Sistema A son las bombas booster y éstas presentan un problema pues funcionan a velocidad constante mientras el caudal varía frecuentemente. El problema puede ser entendido observando que en un sistema de bombeo en serie, como es este caso, el caudal es el mismo para ambas bombas, como la velocidad de la P 104 es manipulado con la ayuda de un variador de frecuencia esta va a mantenerse dentro de los rangos de eficiencia aceptables si varía su caudal de la mano con la velocidad; entonces, es exactamente lo que debería repetirse en las bombas booster para mantener la eficiencia de éstas en el rango requerido. Pero, actualmente, las bombas booster no cuentan con la ayuda de un

variador de frecuencia para mantener un buen rango de eficiencia y su variación caudal se da por desplazamiento del punto de funcionamiento de la única curva de la bomba que corresponde a la también única velocidad del motor eléctrico; consecuentemente, el funcionamiento de la bomba booster no está dentro de un intervalo de eficiencia plenamente determinado y deseable.

#### **5.4.2. Sistema B**

La eficiencia encontrada cuando se utiliza este sistema es de 15,79 % aproximadamente y dependiendo de cual par de grupos estén trabajando. En cuanto al costo de bombeo de este sistema es de 0,1067 \$/barr. Al ser este valor considerablemente mayor que el sistema principal pues al hablar de miles de barriles esta cifra puede aumentar bastante; por ejemplo, si se supone que se está bombeando a 1500 barr/h durante 5 horas, esto es 7500 barr, en dinero, esto le cuesta 800,25 dólares a la empresa; es decir, 528 dólares más que el sistema principal A por bombear la misma cantidad.

La bomba P 101 tiene el mejor comportamiento de las tres que son impulsadas por medio de MCI. Debido al buen rendimiento determinado no se cuenta con ninguna medida, para esta máquina, en cuanto a eficiencia energética.

La bomba P 102 tiene el peor rendimiento del trío. Entonces, esta también se convierte en una potencial cuestión de análisis y acción para mejorar su eficiencia.

La bomba P 103, en cuanto al rendimiento, esta está muy cercana al de la P 101 y no presenta ninguna indicación como para realizar una ponderación especial en procura de aumentar la eficiencia de este equipo.

#### **5.5. Tubería**

Es de gran importancia, para el eficiente comportamiento de la planta, que la tubería esté en las mejores condiciones de limpieza y resistencia. Pues si esta está demasiado sucia, el coeficiente de fricción aumenta produciendo un aumento de las pérdidas y consecuentemente un desplazamiento del punto de funcionamiento del sistema, alejándose ineludiblemente, de las condiciones de rendimiento máximo. Por otro lado, la resistencia que tenga la tubería para soportar presiones es de suma importancia cuando se quiere aumentar el caudal por medio de un incremento de la velocidad del motor; considerando que es una tubería expuesta a corrosión, los

daños al medio ambiente y económicos por una falla en la determinación de la máxima presión de operación de esta tubería puede ser catastróficos.

## **5.6. Edificaciones**

Aquí el principal problema que se presenta como una potencial oportunidad es la cultura de ahorro de todo el personal de la estación de bombeo: operaciones, MOPRO, mantenimiento electromecánico, laboratorio químico, cuadrilla y comedor.

En los recorridos realizados se pudo observar temperaturas demasiado bajas alcanzadas por medio del sistema de aire acondicionado en el departamento de operaciones, mantenimiento electromecánico y MOPRO. Esto debido al desconocimiento de cuál es la temperatura de confort y saludable para la región costa que es de 25°C y 60% de humedad relativa. Consecuentemente, unas charlas de concienciación acerca de este tema puede muy bien servir de medida de ahorro.

## **5.7. Otros aspectos**

### **5.7.1. La gráfica de Producción Vs Consumo**

Esta es mostrada en el capítulo III muestra un comportamiento no correspondiente pues hay meses en los que el consumo aumenta mientras la producción disminuye y viceversa. Se cree que una correcta administración de la operación de limpiar la tubería con los “rascadores” puede a ayudar que se dé el paralelismo lógico que debería haber entre estas dos curvas.

El llamado de atención que trajo esta gráfica fue el origen de la investigación que se realizó casi inmediatamente, por parte del personal de la estación, para verificar el estado de los medidores de nivel y las tablas de calibración de los tanques de almacenamiento de la estación. La normativa con que se rigió este trabajo fue la API MSMP capítulos II y III. Los resultados que obtuvieron los especialistas fue la recomendación de que las cintas de medición, plomada, tablas de calibración y programas de cálculo tenían que ser recalibrados y/o reemplazados.

Entonces, esta verdad es la que justifica el comportamiento poco correspondiente de la gráfica Producción Vs Consumo mostrada en el capítulo III.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. ESTABLECIMIENTO DE INDICADORES DE CONTROL Y ESTRATEGIAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

En esta parte del trabajo se va a definir cada uno de los indicadores necesarios para asegurar una gestión total eficiente de la energía, las estrategias de operación y mantenimiento se encuentran resumidas en las propuestas sugeridas en el capítulo VII.

#### **6.1. Falla o desabastecimiento Eléctrico**

Este componente puede ser evaluado en cuanto a la cantidad de fallas que presenta en el año. La *probabilidad de falla* o desabastecimiento eléctrico es de vital importancia pues el 85% del año se bombea con motores eléctricos, además la tendencia es de ir en aumento en el uso de este sistema de bombeo frente al que funciona con diesel.

#### **6.2. Rendimiento**

El *rendimiento*, principalmente de los equipos de mayor consumo energético, es de gran importancia tanto para el control energético e indirectamente para el mantenimiento de los mismos.

#### **6.3. Emisiones de gases de efecto invernadero**

El debate mundial sobre el cambio climático y sus consecuencias nocivas para el ambiente han dado pie para que el indicador *Emisiones de Gases de Efecto Invernadero* sea uno de los más importantes cuando de desarrollo sostenible se trata. Entonces, es deber de toda empresa, con conciencia ambiental mínima, el tener bien determinado es indicador y además tomar acciones para propender reducirlo.

#### **6.4. Consumo específico de combustible**

En el caso de que se decida seguir utilizando los grupos a diesel, el *Consumo Específico de Combustible* se convierte en un indicador que no se puede dejar de lado para realizar un control energético mínimo para los MCI.

#### **6.5. Consumo específico por Kg de aire**

Para contabilizar la energía consumida y el costo de esta por concepto de cualquier sistema de aire comprimido se necesita tener el *consumo específico por kilogramo* de aire y el *costo por kilogramo* como principales referentes en la gestión energética de estos sistemas.

#### **6.6. Costo por barril bombeado**

Sea cual fuere el sistema de bombeo que se esté utilizando tener el *costo por barril bombeado* es el indicador adecuado para tener una muy buena referencia a la hora de comparar el funcionamiento del sistema en condiciones determinadas. Este indicador no solo que dice cual es el comportamiento del sistema de bombeo actual sino que está dando un indicador de toda la planta en general pues este es su objetivo último.

#### **6.7. Consumo en edificaciones**

Es necesario llevar una contabilización de la energía que utilizan las instalaciones complementarias de la estación pues esta constituye una parte importante de controlar. La determinación del *consumo mensual* y el *costo mensual* son los indicadores identificados como los más adecuados para que sirvan de insumos al administrador energético.

## **CAPÍTULO VII**

### **7. DEFINICIÓN DE POSIBLES MEDIDAS Y PROYECTOS PARA AHORRAR ENERGÍA Y REDUCIR COSTOS ENERGÉTICOS, EVALUADOS TÉCNICA Y FINANCIERAMENTE.**

Luego de terminar con los temas anteriores ya se está apto para definir, con precisión, las más adecuadas medidas y proyectos de ahorro energético para la estación de bombeo. Las propuestas que se detallarán a continuación se fundamentan en la información y el análisis previo desarrollado durante toda la investigación.

El método que se utiliza para la evaluación técnica y económica de estas ideas es la de comparar el funcionamiento y costo actual con los que eventualmente tendría, de aplicarse la solución propuesta. Finalmente, se cuantifica los ahorros para concluir si es factible el proyecto. La culminación de este análisis se da con la comparación cuantitativa de todas las propuestas aquí sugeridas.

Con la demostración, en capítulos anteriores, de lo perjudicial que es la utilización de los motores a diesel, las propuestas van dirigidas a reemplazar este sistema de bombeo o, en el peor de los casos, a minimizar su uso.

#### **7.1. Medida #1:**

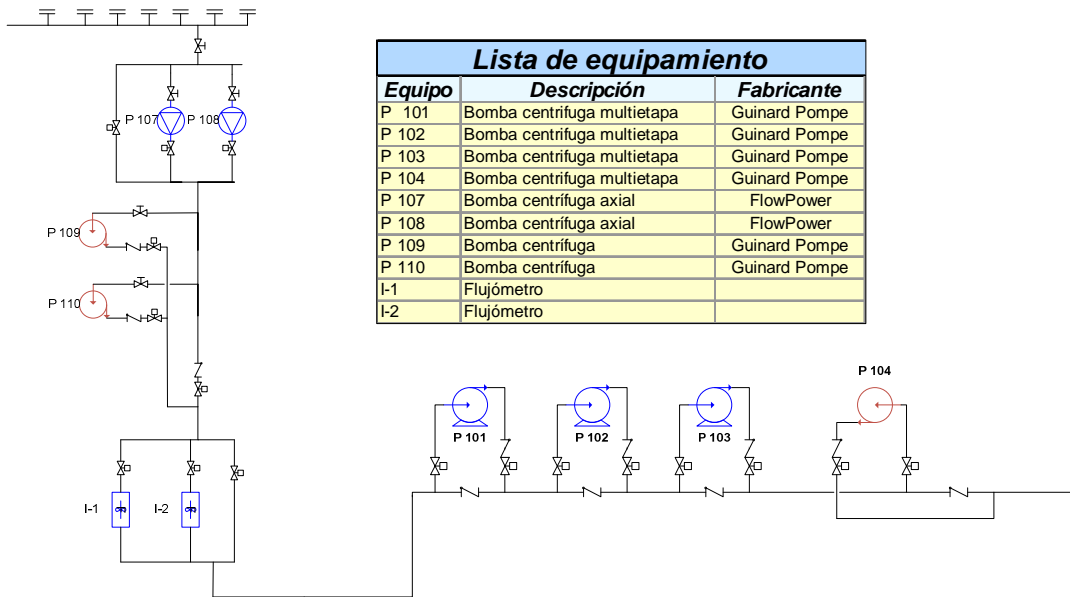
##### **Adaptación de un variador de frecuencia**

El problema identificado en el capítulo V, sobre la necesidad de variar la velocidad de los motores eléctricos que impulsan la bombas booster del Sistema A, lleva a analizar y detallar los posibles beneficios de esta implementación a favor de mejorar la eficiencia del complejo industrial.

##### *Situación actual*

La instalación actual puede observarse en la figura 7.1, aquí se da una breve descripción del sistema A.





**Figura 7.1.** Recorrido del fluido en el Sistema A. Sale del manifold. Luego pasa por el by-pass (que sirve para salvar las bombas booster del Sistema B), después entra a una de las dos booster, seguidamente pasa por uno de los flujómetros tipo turbina y finalmente entrar a la bomba principal para descargar al poliducto.

De los capítulos anteriores se sabe que el consumo específico de este sistema es de 0,51 Kwh/barr, lo que equivale a 0,036 \$/barr.

#### Condiciones de la propuesta

Con la ayuda de un programa proporcionado por la empresa ABB-Ecuador se selecciona el variador ingresando los datos del motor como: potencia, voltaje, corriente, frecuencia. Y el variador obtenido es el ACS800-U2-0210-5 con un precio de 17 850 dólares americanos.

Como el cambio que propone esta idea no incluye modificaciones en la disposición del sistema de tuberías, solo se necesita un variador de frecuencia que no va a necesitar una caseta adicional pues muy bien puede colocarse donde se ubica el variador de frecuencia del motor principal.

Según el fabricante el costo de mantenimiento de este variador es de 2.000 anuales y una vida útil de 25 años.

El interés bancario a julio de este año es de 9,22 % según el Banco Central del Ecuador.

El costo inicial de variador es el costo de instalación del sistema por lo tanto debe incluir el mismo variador, los costos de transportación y los costo de instalación. El costo de mantenimiento son los gastos que se deben por este concepto. El impuesto sobre ganancia seria del 0% debido a que se trata de Petrocomercial que es una empresa del estado. El interés bancario se lo obtuvo la página del Banco Central del Ecuador. El valor ahorrado mensual es un cálculo que se obtuvo al comparar lo que consumían los equipos normalmente y lo que consumirían al aplicar esta propuesta; para obtener éste valor se necesita de los datos de operación todos los caudales con los que han estado bombeados durante un tiempo estimado y se calcula lo que ha costado el funcionamiento de la bomba booster en ese tiempo además se calcula lo que costaría acoplado un variador de frecuencia y esta diferencia da el valor ahorrado.

Cabe resaltar que esta propuesta es válida solo para caudales superiores a 2 275 brl/h debido a que es el mínimo caudal que podría suministrar la bomba P 104.

Por lo tanto, con lo descrito anteriormente, se tiene que trabajar con los siguientes indicadores:

**Tabla 7.1. DATOS NECESARIOS PARA EL ANÁLISIS FINANCIERO DE LA PROPUESTA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD**

<b>INDICADOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Costo inicial	21 187,95	\$
Costo de mantenimiento anual	2 000,00	\$
Vida útil	25	años
Interés Bancario	9,22	%
Impuesto sobre ganancia	0	%
Valor ahorrado por mes	1 478,81846	\$
Valor ahorrado por año	17 745,8215	\$

Con estos datos de la tabla 7-1 y con la ayuda de programas computacionales se obtiene el análisis financiero que arroja los siguientes resultados:

**Tabla 7.2. RESULTADOS DE LA PROPUESTA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD**

<b>INDICADOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
VAN	119 721,42	\$
TIR	74,31	%
PRI	15-16	meses
RCB	0,125193	
RBC	7,987610	

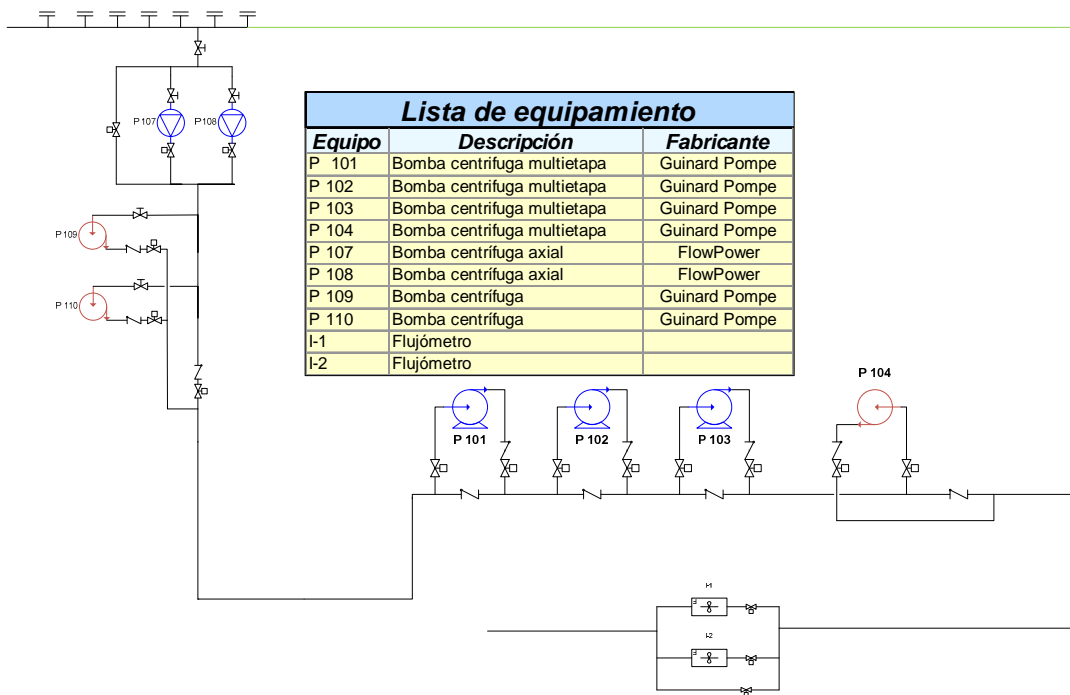
## 7.2. Medida #2:

### Adaptación de un Sistema By-pass

Esta es una propuesta que quiere acabar con la utilización de los motores de combustión interna, pues dota al Sistema A de la capacidad de bombear bajo su actual caudal mínimo de 2 275 barr/h. Las condiciones actuales del sistema son las mismas descritas en la idea anterior.

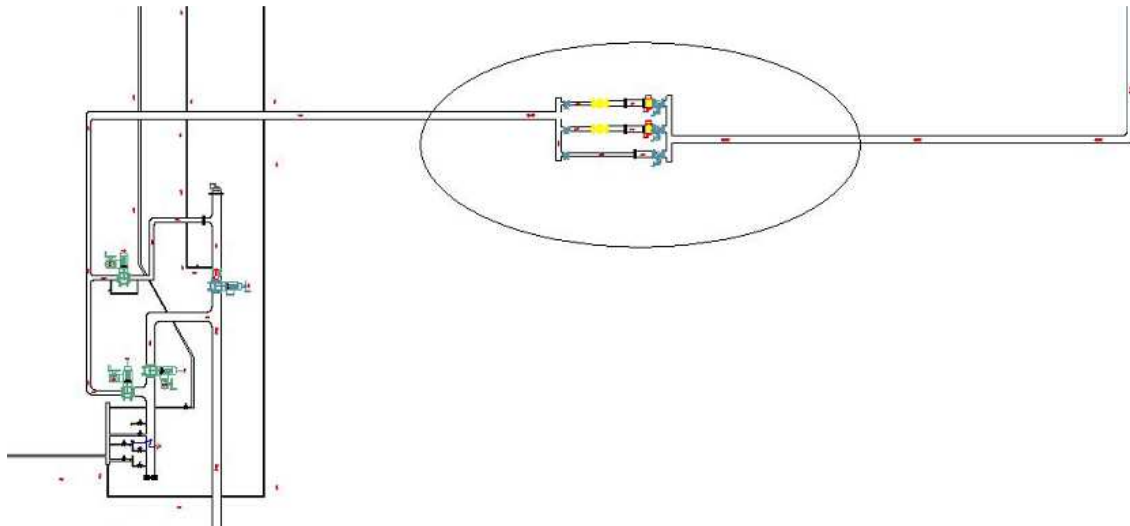
#### *Alternativa propuesta*

En la figura 7-2 podemos observar cual sería la nueva disposición de la planta con un sistema de by-pass para derivar el exceso de caudal. El By-Power está en color verde.



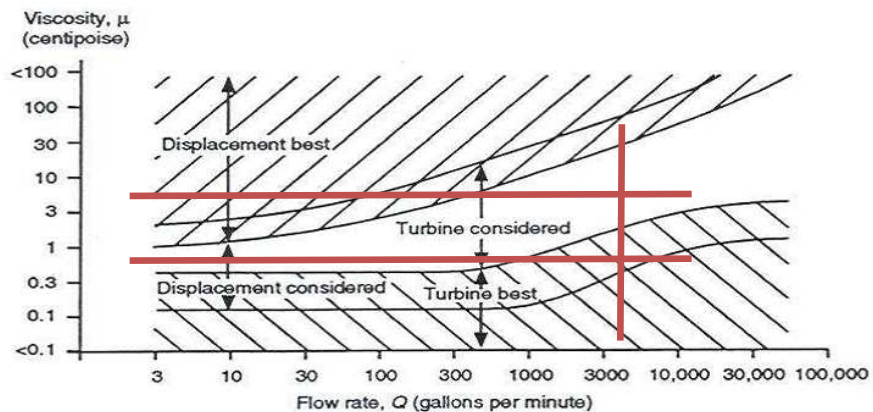
**Figura 7.2** Sistema de By-pass propuesto resaltado en color celeste

Además del by-pass se necesita cambiar la configuración para medir el caudal, en la figura 7.3 se observa el nuevo lugar que tiene que tener el flujómetro.



**Figura 7.3** Arreglo para flujómetros encerrado en una elipse.

Ahora se tiene que seleccionar el flujómetro para la nueva instalación, entonces, se apoya en la figura 7-4 para que se guíe en esto. Se Necesitan los datos de viscosidad en centipoise y el caudal en galones por minuto que, para nosotros es, 0,53 a 4,8 centipoise y 2 500 GPM aproximadamente.



**Figura 7.4** Gráfica para la selección del flujómetro

Como se puede observar la línea vertical del caudal se cruza con el rango de viscosidades de este caso y están indicando que los *flujómetros de turbina* son los más recomendables. Estos flujómetros son los más adecuados también porque tienen un rango de presión de hasta 5 700 psig según la tabla que aparece en el anexo 14.

Luego de saber el tipo de flujómetro que se necesita se procede a configurar la disposición que van a tener los diferentes elementos principales y secundarios necesarios para realizar la medición. En la figura 7-5 se representa un esquema de cómo debe ser montado el sistema.

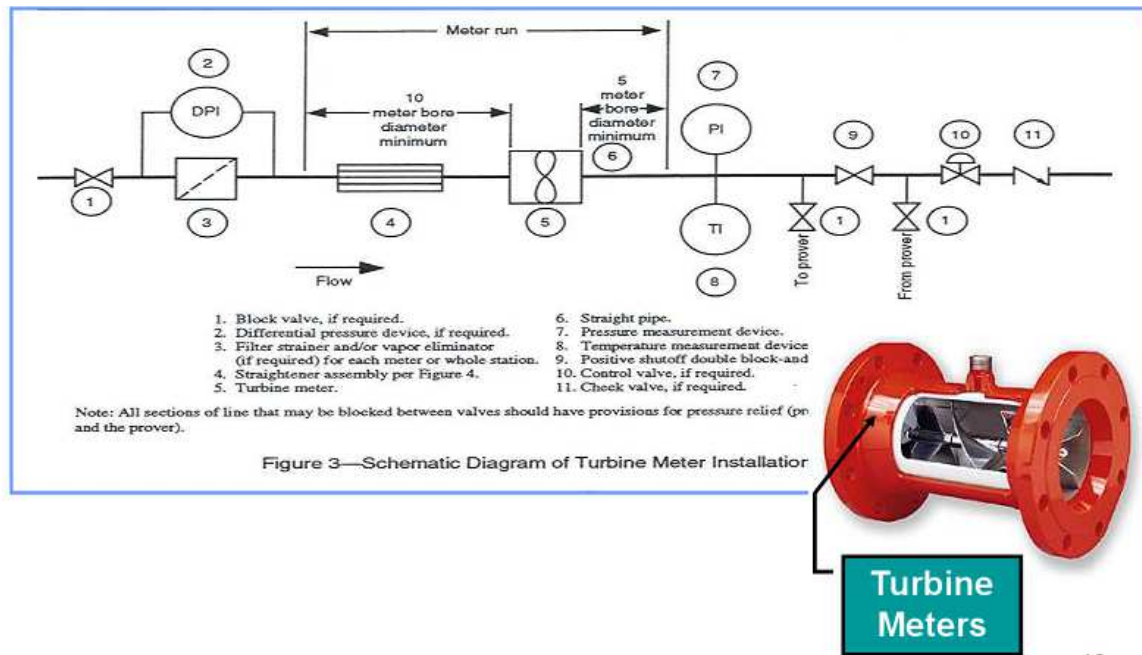


Figura 7.5 Esquema de cómo debe instalarse un sistema con flujómetro tipo turbina

Ahora se puede enlistar todos los elementos necesarios para la aplicación de esta propuesta:

Tabla 7.3. CÁLCULO DEL COSTO INICIAL PARA LA PROPUESTA DEL BY-PASS

Sist By-pass	Costo unit	Unid	Cant	Unid	Subtot
Costo de tubería 6"	42,21	\$/m	80	m	3 376,8
Válvula de paso 6"	400	\$/u	7	u	2 800
Filtros stainer	2 000	\$/u	2	u	4 000
Indicador temp.	200	\$/u	2	u	400
Indicador presión	90	\$/u	2	u	180
Indicador de presión dif.	150	\$/u	2	u	300
Válv. compuerta	912	\$/u	1	u	912
Válv. check	407	\$/u	1	u	407
Válv. Fisher	21 000	\$/u	1	u	21 000
Flujómetro	7 500	\$/u	2	u	15 000
<b>Costo Total</b>					<b>48 375,8</b>

Entonces, el costo inicial de esta propuesta es de 48 375,8 dólares americanos.

En esta propuesta se debe considerar que es, principalmente, para dejar de utilizar el sistema B el cual trabaja desde 1 300 hasta 2 275 brrl/h; para lo cual se desea bombear a un caudal fijo mínimo con la bomba P 104 que está acoplada a un motor eléctrico y el excedente iría por el by-pass nuevamente al distribuidor para finalmente entrar a un tanque de almacenamiento.

El costo inicial de la propuesta es lo que costaría adquirir todos estos equipos, incluyendo el transporte. El costo de mantenimiento son los gastos que se deben por este concepto. El impuesto sobre ganancia sería del 0% debido a que se trata de una empresa estatal. El interés bancario se lo obtuvo la página del Banco Central del Ecuador. El valor ahorrado mensual es un cálculo que se obtuvo al comparar lo que consumían los equipos normalmente y lo que consumirían al aplicar esta propuesta; para obtener éste valor primero se parte de los datos de operación, teniendo todos los caudales con los que han estado bombeados durante un tiempo estimado y se calcula lo que ha costado el funcionamiento del Sistema B en ese tiempo además se calcula lo que costaría acoplado el sistema de By-pass, esta diferencia da el valor ahorrado.

Por lo tanto con lo descrito anteriormente se tiene que trabajar con los siguientes indicadores:

**Tabla 7.4. DATOS NECESARIOS PARA EL ANÁLISIS FINANCIERO DE LA PROPUESTA DEL BY-PASS**

<b>INDICADOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Costo inicial	48 375,8	\$
Costo de mantenimiento	3 000,00	\$
Vida útil	25	años
Impuesto sobre ganancia	0	%
Interés bancario	9,22	%
Valor ahorrado por mes	2 414,65	\$
Valor ahorrado por año	28 975,81	\$

Con los datos de la tabla 7-3 y la ayuda del programa Microsoft Excel se tiene que el análisis económico arroja los siguientes resultados:

**Tabla 7.5. RESULTADOS DE LA PROPUESTA DEL BY-PASS**

<b>INDICADOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
VAN	170 820	\$
TIR	55	%
PRI	21-22	meses
RCB	0,281995	
RBC	3,54615	

### **7.3. Medida # 3:**

#### **Adaptación de un Variador de frecuencia y Sistema By-pass**

Las dos propuestas son buenas, pero cada una tiene un inconveniente. La propuesta del variador es excelente para bombear caudales superiores a 2 275 brll/h y la propuesta del sistema de by-pass es válida para bombear caudales entre 1 300 hasta 2 275 brll/h, por lo tanto es obvio pensar que se debe analizar una tercera propuesta que sea una combinación de las dos anteriores.

Como el proceso de cálculo es semejante a los dos puntos anteriores, entonces, se opta por presentar, solamente, los datos de costos y los resultados finales con los indicadores más importantes.

*Tabla 7.6. CÁLCULO DEL COSTO INICIAL PARA LA PROPUESTA DEL VARIADOR DE FRECUENCIAS Y EL SISTEMA DE BY-PASS*

<b>Sist variador y By-pass</b>	<b>Costo unit</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cant.</b>	<b>Unid.</b>	<b>Subtotal</b>
Variador de Velocidad	21 187,95	\$/u	<b>1</b>	<b>u</b>	21 187,95
Costo de tubería 6"	42,21	\$/m	80	m	3 376,8
Válvulas de paso 6"	400	\$/u	7	u	2800
Filtros steiner	2 000	\$/u	2	u	4000
Indicador temp.	200	\$/u	2	u	400
Indicador presion	400	\$/u	2	u	800
Válv. compuerta	912	\$/u	1	u	912
Válv. check	407	\$/u	1	u	407
Válv. Fisher	21 000	\$/u	1	u	21 000
Flujómetro	7 500	\$/u	2	u	15000
<b>Costo Total</b>					<b>69 883,75</b>

*Tabla 7.7. DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO ECONÓMICO DE LA PROPUESTA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD Y EL SISTEMA DE BY-PASS*

<b>INDICADOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Costo inicial	69 883,75	\$
Costo mantenimiento	5 000	\$
Vida útil	25	años
Interés Bancario	9,22	%
Impuesto sobre ganancia	0	%
Valor ahorrado por mes	3 893,46	\$

*Tabla 7.8. RESULTADOS DE LA PROPUESTA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD Y EL SISTEMA DE BY-PASS*

<b>INDICADOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
VAN	366 899	\$
TIR	206	%
PRI	6 a 7	meses
RCB	0,079455	
RBC	12,58565	

#### 7.4. Comparación de las propuestas

En esta parte se debe contrastar cada una de las ideas identificadas y analizadas anteriormente. La tabla siguiente nos da una ayuda visual:

*Tabla 7.9. TABLA DE COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES PROYECTOS*

<b>Propuesta</b>	<b>VAN [\$]</b>	<b>TIR [%]</b>	<b>PRI [meses]</b>	<b>RCB</b>	<b>RBC</b>
Variador	119 721	74	15 a 16	0,1251	7,9876
By-pass	170 820	55	21 a 22	0,28199	3,54615
Var y By-pass	366 899	206	6 a 7	0,07945	12,5856

Se puede observar que el proyecto que combina las dos primeras ideas es el más conveniente, económicamente, pues el VAN, TIR y PRI son muy superiores a los dos primeros.

Las dos últimas propuestas, en las que se incluye la instalación de un by-pass, son las de mayor beneficio económico para la empresa. Sin embargo, no se ha considerado los costos ambientales, que se eliminan con la implementación de este sistema, incluyendo los costos externos de la utilización de los MCI calculados en el capítulo IV. En la tabla siguiente se puede observar cuantitativamente, el beneficio ambiental que significa aplicar esta propuesta, con la ayuda de los mismos indicadores económicos anteriores.

*Tabla 7.10. TABLA DE INDICADORES FINANCIEROS DE LA PROPUESTA COMBINADA DE VARIADOR Y BY-PASS CONSIDERANDO LOS COSTOS EXTERNOS.*

<b>INDICADOR</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
VAN	2 408 408	\$
TIR	653	%
PRI	1 a 2	meses
RCB	0,0112937	
RBC	88,544445	



## CAPÍTULO VIII:

### **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Finalmente se puede expresar cuales fueron los resultados más importantes de la investigación para que sirva de aporte tanto académico como financiero y así dar una pequeña ayuda en el mejoramiento de los sistemas energético-intensivos del país.

#### **8.1. Conclusiones:**

Cada uno de los objetivos planteados en este trabajo han llevado a terminar expresando los más importante de cada uno de ellos y el aporte que cada uno da, a la academia y/o la empresa en estudio.

- Para la evaluación cuantitativa y cualitativa de cualquier planta industrial se necesita contar con la mayor cantidad de datos energéticos, de mantenimiento y operativos para caracterizar energéticamente a la empresa. La no existencia de un Sistema de Gestión de esta Información Energética se convierte en una grave deficiencia a eliminar si es que se quiere tener un sistema de administración de la energía respetable, por lo menos. Las herramientas informáticas modernas, los modernos instrumentos de medición y el talento humano, bien entrenado y coordinado, son los elementos indispensables para llegar a tener una Gestión Total Eficiente de la Energía.
- La gráfica de Producción Vs Consumo reveló un importante problema presentado en este complejo industrial al exponer que no había una correspondencia lógica entre la producción y el consumo, esto llevó que los técnicos de la estación encontrar una falla muy importante en los sistemas de aforo, calibración de tanques y programas informáticos de cálculo para determinar la entrada y salida de combustibles a la estación. Es decir, por medio de la evaluación energética se pudo sugerir o dar luces para la inspección de otros sistemas no energéticos pero que influyen directamente en la gestión de la información de la empresa.
- Luego de determinar la eficiencia energética de los Sistemas denominados A y B en este trabajo se puede decir con total certeza de que la utilización del sistema antiguo que es impulsado con motores de combustión interna es inconveniente económica y ambientalmente hablando. En otras palabras, aunque todo técnico medio sabe que un

sistema propulsado eléctricamente es más eficiente que uno de combustión interna, se ha determinado con precisión esa diferencia para eliminar la incertidumbre y dar a los directivos un fuerte elemento de decisión.

- Una parte fundamental en la Gestión Total Eficiente de la Energía es, precisamente, la de la gestión que deben realizar los directivos de la empresa con sus similares de otros organismos. Es decir, en este trabajo se quiere eliminar la utilización de MCI en la estación de bombeo pero eso implica que se debe contar con un sistema de abastecimiento eléctrico más confiable y esto solo se puede lograr realizando un convenio de Petrocomercial entre la Empresa Eléctrica Esmeraldas y Petroindustrial para asegurar que estos dos únicos proveedores mejoren la fiabilidad del sistema de distribución y adicionalmente impulsar un mejor sistema de comunicación entre oferta y demanda para disminuir la incertidumbre en pos de evitar paros emergentes.
- Siempre que existan comportamientos extraños o ilógicos, en las evaluaciones energéticas, se puede concluir que hay altas probabilidades de que se esté presentando un problema escondido en el equipo o sistema en análisis. Y nunca se podrá evaluar estos si no se cuenta con equipos de medición en perfecto estado cosa que no se encontró en esta subestación ya que los equipos de medición del (sistema más importantes) motor eléctrico no funcionan.
- Con la ayuda de pocos indicadores energéticos, en esta estación, se puede realizar un excelente trabajo en la gestión energética de la planta. La conformación de un sistema de gestión de la información energética puede constituirse en un apoyo importante para la administración de activos, como ejemplo, la gráfica de Producción Vs Consumo.
- Con la definición de medidas de ahorro energético se ha demostrado que la estación es susceptible de mejora continua en eficiencia energética y, siempre y cuando, estás estén prestando atención a los grandes retos ambientales que propone nuestra época, se puede decir que siempre son beneficiosos para la sociedad.
- La aplicación de este trabajo y la construcción de los proyectos de ahorro están en la misma línea del gobierno actual que propone el proyecto Matriz Energética que intenta hacer un cambio en el sistema energético nacional que le otorgue al país soberanía en este campo estratégico de desarrollo. Una de las metas principales de este plan es precisamente la aplicación de auditorías energéticas para mejorar la eficiencia y,

lógicamente, tener caracterizada energéticamente la mayor cantidad de empresas, en especial, las que son propiedad del estado como lo es Petrocomercial.

- No existe en esta estación una cultura de ahorro por parte de los distintos actores que hacen uso, principalmente, de los sistemas de aire acondicionado e iluminación. En los recorridos realizados se observó una temperatura muy por debajo de la de confort y lámparas encendidas en lugares en las que no eran utilizadas durante periodos considerablemente largos.
- Las fugas presentadas en el sistema de aire comprimido deben ser eliminadas, en caso de decidir seguir bombeando con los motores a diesel. Los resultados demuestran que este costo es aproximadamente de aproximadamente 4 dólares americanos por día de funcionamiento.
- El análisis financiero justifica la eliminación de la utilización de los MCI porque resultan inconvenientes tanto ambiental como económicamente. La aplicación de un variador de velocidad en las bombas booster en conjunto con la instalación de un sistema de By-pass se convierte en la mejor alternativa energética para mejorar el rendimiento energético y reducir la emanación de los gases de efecto invernadero. Con la aplicación de esta medida se tiene un PRI de 6 a 7 meses luego de implementar la propuesta.

## **8.2. Recomendaciones:**

La investigación realizada lleva a enunciar los siguientes consejos para poder aplicar adecuadamente las soluciones sugeridas por este trabajo.

- Como la política actual del gobierno nacional y el mundo están en la vía del mejoramiento de la eficiencia energética y reducir la generación de los gases de efecto invernadero, es deber de Petrocomercial hacer un serio esfuerzo por aplicar un las sugerencias aquí expuestas pues estas están en la línea del desarrollo energético sustentable.
- La empresa necesita aplicar un Sistema de Gestión Eficiente de la Energía en el que se involucre a todos los actores de la planta empezando por los que realizan la limpieza hasta los cargos de dirección. Esta medida sugerida debe ser aplicada por una empresa consultora externa y de manera periódica.

- Es imperativa la necesidad de establecer un sistema de informático de cuantificación energética que sirva de apoyo al sistema de gestión de la energía.
- La instrumentación presente en la planta debe ser revisada y mejorada, en la mayoría de los casos, para realizar una gestión eficiente de la energía pues sin elementos básicos para este efecto poco o nada se puede hacer para llevar una contabilización energética satisfactoria.
- El sistema de medición que utiliza la empresa debe ser revisado y calibrado según las normas que existen para este efecto. Luego de esto, se sugiere también, realizar una comprobación de los flujómetros tipo turbina con los que cuenta la estación para eliminar esa incertidumbre.
- El calentamiento inusual que presenta la bomba booster P 109 es causado porque existe recirculación del fluido debido a que el impulsor, muy probablemente, presente erosión debida a cavitación. Por medio de una inspección rápida se pudo constatar que, efectivamente, esta bomba presenta el sonido característico de la cavitación. Entonces, se insta a que esta bomba entre en mantenimiento cuanto antes.
- Por medio de conversaciones con el personal de la estación se supo que cuando se bombea del tanque cinco y este alcanza un nivel de cerca de un metro de altura la bomba booster presenta cavitación debido a que la presión en la succión disminuye notablemente. Por esta razón este tanque debe ser revisado en la succión para determinar las causas de esa reducción de presión inusual que teóricamente no se debería presentar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Microsoft Encarta 2008.
- [2] CHAPMAN, S. Máquinas Eléctricas. 3<sup>ra</sup> ed. Bogotá: Mc GRAW-HILL, 2000.
- [3] MATHAIX, C. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. 2<sup>da</sup> ed. España: AlfaOmega 1986.
- [4] MC NAUGHTON, K. Bombas Selección, Uso y Mantenimiento. México: GRAW-HILL, 1988.
- [5] FAIRES, V. y SIMMANG, C. Termodinámica. 5<sup>ta</sup> ed. México: Limusa 2003.
- [6] DIAZ, R. Motores de Combustión Interna Riobamba: Pedagógica Freire, 1987.
- [7] ZABALA, G. Apuntes de Combustión. Riobamba: Docucentro, 2003
- [8] MOTOR CHALLENGUE, Determining Electric Motor Load and Efficiency, Program of the U.S. Department of Energy
- [9] BORROTO, A. Ahorro de Energía en Sistemas Termomecánicos. Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos, 2002
- [10] RODRÍGUEZ J., GOYTISOLO R., RIVERA V.y MACHADO A. Determinación Experimental de Eficiencia de Reductores de Velocidad. Cuzco: Octavo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica Octubre, 2007

## BIBLIOGRAFÍA

- BORROTO, A. Ahorro de Energía en Sistemas Termomecánicos.  
Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos, 2002
- CHAPMAN, S. Máquinas Eléctricas. 3<sup>ra</sup> ed. Bogotá: Mc GRAW-HILL,  
2000.
- DIAZ, R. Motores de Combustión Interna Riobamba: Pedagógica Freire,  
1987.
- FAIRES, V. y SIMMANG, C. Termodinámica. 5<sup>a</sup> ed. México: Limusa  
2003.
- MATHAIX, C. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. 2<sup>da</sup> ed. España: AlfaOmega  
1986.
- MC NAUGHTON, K. Bombas Selección, Uso y Mantenimiento. México: GRAW-HILL,  
1988.
- MOTOR CHALLENGUE, Determining Electric Motor Load and Efficiency,  
Program of the U.S. Department of Energy
- RODRÍGUEZ J., GOYTISOLO R., RIVERA V.y MACHADO A. Determinación  
Experimental de Eficiencia de Reductores de Velocidad. Cuzco: Octavo Congreso  
Iberoamericano de Ingeniería Mecánica Octubre, 2007
- ZABALA, G. Apuntes de Combustión. Riobamba: Docucentro,  
2003

## **LINKOGRAFÍA**

Precios de Variadores de frecuencia

[www.joliettch.com](http://www.joliettch.com)

2009-06-30

Selección variadores de frecuencia y datos técnicos de motores eléctricos

[www.abb.com](http://www.abb.com)

2009-06-25

Tasa de interés bancario nacional

[www.bce.com.ec](http://www.bce.com.ec)

2009-07-10

Costo externo de fuentes de energía provenientes del petróleo

[www.externe.info/externpr.pdf](http://www.externe.info/externpr.pdf)

2009-05-10