



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA

“AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE SANTO DOMINGO DEL POLIDUCTO ESMERALDAS - SANTO DOMINGO – QUITO - MACUL DE LA GERENCIA DE TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO PERTENECIENTE A LA EMPRESA PÚBLICA EP PETROECUADOR”.

Juan Francisco Novillo Ramos

Luis Miguel Alcocer Venlasaga

TESIS DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2011

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Noviembre, 29 de 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

JUAN FRANCISCO NOVILLO RAMOS

Titulada:

**“AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE
SANTO DOMINGO DEL POLIDUCTO ESMERALDAS - SANTO
DOMINGO – QUITO - MACUL DE LA GERENCIA DE TRANSPORTE
Y ALMACENAMIENTO PERTENECIENTE A LA EMPRESA
PÚBLICA EP PETROECUADOR”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECANICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Rodrigo Díaz
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Ramiro Valenzuela.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JUAN FRANCISCO NOVILLO RAMOS.

TÍTULO DE LA TESIS: “AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE SANTO DOMINGO DEL POLIDUCTO ESMERALDAS - SANTO DOMINGO – QUITO - MACUL DE LA GERENCIA DE TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO PERTENECIENTE A LA EMPRESA PÚBLICA EP PETROECUADOR”

Fecha de Examinación: 29 de Noviembre de 2011

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN | APRUEBA | NO APRUEBA | FIRMA |
|---|---------|------------|-------|
| ING. EDUARDO VÁSQUEZ. (Presidente Trib. Defensa) | | | |
| ING. RODRIGO DÍAZ. (Director de Tesis) | | | |
| ING. RAMIRO VALENZUELA. (Asesor) | | | |

*Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Noviembre, 29 de 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

LUIS MIGUEL ALCOCER VENLASAGA

Titulada:

**“AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE
SANTO DOMINGO DEL POLIDUCTO ESMERALDAS - SANTO
DOMINGO – QUITO - MACUL DE LA GERENCIA DE TRANSPORTE
Y ALMACENAMIENTO PERTENECIENTE A LA EMPRESA
PÚBLICA EP PETROECUADOR”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECANICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Rodrigo Díaz
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Ramiro Valenzuela.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LUIS MIGUEL ALCOCER VENLASAGA.

TÍTULO DE LA TESIS: “AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE SANTO DOMINGO DEL POLIDUCTO ESMERALDAS - SANTO DOMINGO – QUITO - MACUL DE LA GERENCIA DE TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO PERTENECIENTE A LA EMPRESA PÚBLICA EP PETROECUADOR”

Fecha de Examinación: 29 de Noviembre de 2011

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN | APRUEBA | NO APRUEBA | FIRMA |
|---|---------|------------|-------|
| ING. EDUARDO VÁSQUEZ. (Presidente Trib. Defensa) | | | |
| ING. RODRIGO DÍAZ. (Director de Tesis) | | | |
| ING. RAMIRO VALENZUELA. (Asesor) | | | |

*Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado presentado a continuación, 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 teóricos – científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Juan Francisco Novillo Ramos.

f) Luis Miguel Alcocer Venlasaga

AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer en primer lugar a Dios, a mis padres y a mi familia por darme todo el apoyo en mi vida, a mis tutores de tesis por confiar en nosotros y guiarnos en el desarrollo del presente trabajo, a mis amigos por estar presente en todos los buenos y malos momentos, a mis profesores por darnos sus enseñanzas para ser buenos profesionales, y a todo el personal de la estación de bombeo de Santo Domingo perteneciente a la empresa EPPETROECUADOR por brindarnos todo el respaldo necesario para culminar con éxito el trabajo de tesis.

Juan Novillo Ramos.

Mis más sinceros agradecimientos a todas las personas quienes aportaron para el desarrollo de mi formación profesional, en especial a:

A mis padres por darme la vida y entrenarme para la vida.

A mis hermanos por ser el ejemplo a seguir.

A mis maestros por impartirnos sus conocimientos

A mis amigos por brindarme su amistad.

A mis familiares por el apoyo incondicional.

A todos y cada uno, que me colaboraron de una u otra forma en la formación profesional.

Y sobre todo a Dios por darme a cada una de las personas que están a mi alrededor.

L. M. A. V.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres, a mi familia en general, a mis amigos y a todos quienes han estado conmigo en todo momento de mi vida.

Juan Novillo Ramos

Este trabajo fruto del esfuerzo continuo se lo dedico con mucho cariño a:

Bolívar A. y María V. mis queridos padres.

María, Fabiola y Bolívar mis hermanos.

A todos y cada uno de los miembros de mi familia.

A todos los profesores y amigos.

L. M. A. V.

TABLA DE CONTENIDOS

| <u>CAPÍTULO</u> | <u>PÁGINA</u> |
|--|---------------|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Antecedentes..... | 1 |
| 1.2. Justificación..... | 2 |
| 1.3. Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1. General..... | 3 |
| 1.3.2. Específicos..... | 3 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 4 |
| 2.1. El proceso de la auditoría energética..... | 4 |
| 2.1.1. Recursos para la realización de una auditoria energética..... | 5 |
| 2.2. Estaciones de bombeo..... | 8 |
| 2.2.1. Elementos de las estaciones de bombeo..... | 8 |
| 2.2.2. Ubicación de la estación de bombeo..... | 8 |
| 2.2.3. Capacidad de la estación de bombeo..... | 9 |
| 2.2.4. Número de unidades de bombeo..... | 9 |
| 2.2.5. Tipos de bombas..... | 9 |
| 2.3. Motores de combustión interna..... | 10 |
| 2.3.1. Gases contaminantes..... | 18 |
| 2.3.2. Efecto invernadero..... | 19 |
| 2.3.3. Gases de efecto invernadero..... | 20 |
| 2.3.4. Extracto de la Norma ISO 14001..... | 22 |
| 2.4. Multiplicadores de velocidad..... | 23 |
| 2.5. Sistemas de aire comprimido..... | 28 |
| 2.5.1. Clasificación de los compresores..... | 30 |
| 2.5.2. Compresores volumétricos de doble etapa..... | 30 |
| 2.6. Motores eléctricos..... | 33 |
| 2.6.1. Definición..... | 33 |
| 2.6.2. Partes de un motor de inducción..... | 33 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.6.3. | Deslizamiento..... | 34 |
| 2.6.4. | Potencia del motor eléctrico de inducción..... | 35 |
| 2.6.5. | Rendimiento..... | 35 |
| 2.7. | Bombas hidráulicas..... | 37 |
| 2.7.1. | Definición..... | 37 |
| 2.7.2. | Clasificación de las bombas..... | 38 |
| 2.7.3. | Bombas centrífugas..... | 38 |
| 2.7.4. | Bombas centrífugas multietapa..... | 39 |
| 2.7.5. | Rendimiento de una bomba..... | 41 |
| 2.7.6. | Potencia hidráulica suministrada por la bomba..... | 41 |
| 2.7.7. | Potencia absorbida (o potencia al freno)..... | 42 |
| 2.7.8. | Altura útil o efectiva de una bomba..... | 42 |
| 2.8. | Variadores de frecuencia..... | 43 |
| 2.8.1. | Partes de un variador de frecuencia..... | 43 |
| 2.8.2. | Aplicaciones industriales de los variadores de frecuencia..... | 45 |
| 2.8.3. | Aplicaciones típicas de variadores de frecuencia..... | 46 |
| 2.8.4. | Rendimiento del variador de frecuencia..... | 47 |
| 3. | DIAGNÓSTICO DE LA INSTALACIÓN..... | 48 |
| 3.1. | Descripción de la planta..... | 48 |
| 3.1.1. | Área de almacenamiento..... | 48 |
| 3.1.2. | Área de despacho..... | 50 |
| 3.1.3. | Distribución de la planta..... | 50 |
| 3.1.3.1. | Estación de bombeo..... | 51 |
| 3.1.3.2. | Departamento de operaciones..... | 51 |
| 3.1.3.3. | Mantenimiento electromecánico..... | 52 |
| 3.1.3.4. | Mantenimiento de línea..... | 53 |
| 3.1.3.5. | Intendencia..... | 53 |
| 3.1.3.6. | Bodega..... | 54 |
| 3.1.3.7. | Laboratorio de control de calidad..... | 54 |
| 3.1.3.8. | Viviendas..... | 55 |

| | |
|--|-----|
| 3.1.3.9. Subestación. | 56 |
| 3.1.4. Registros de mantenimiento..... | 58 |
| 3.2. Motores de combustión interna..... | 58 |
| 3.2.1. Datos de mantenimiento. | 59 |
| 3.2.1.1. Datos recopilados de los motores de combustión interna. | 61 |
| 3.3. Motores eléctricos..... | 62 |
| 3.3.1. Motores eléctricos de las bombas hidráulicas..... | 62 |
| 3.3.1.1. Motor eléctrico ABB. | 62 |
| 3.3.1.1.1. Datos de mantenimiento..... | 63 |
| 3.3.1.2. Datos recopilados del motor eléctrico ABB. | 64 |
| 3.3.2. Motores eléctricos de las bombas..... | 66 |
| 3.3.3. Actuadores..... | 67 |
| 3.4. Transformadores. | 69 |
| 3.4.1. Datos de mantenimiento. | 69 |
| 3.4.2. Datos recopilados. | 70 |
| 3.5. Sistema de aire comprimido. | 77 |
| 3.5.1. Datos de mantenimiento. | 77 |
| 3.5.2. Recopilación de datos de los motores eléctricos de los compresores. | 78 |
| 3.6. Diagnóstico de las bombas..... | 81 |
| 3.6.1. Adquisición de datos en la bomba P-201, P-202, P-203..... | 81 |
| 3.6.2. Adquisición de datos en la bomba P-204..... | 84 |
| 3.6.3. Datos de mantenimiento en las bombas..... | 85 |
| 3.7. Iluminación. | 86 |
| 3.8. Máquinas herramientas. | 93 |
| 3.9. Equipos de oficina y laboratorios. | 94 |
| 3.10. Aire acondicionado. | 97 |
| 3.11. Ventiladores..... | 99 |
| 3.11.1. Datos recopilados de los motores eléctricos de los ventiladores..... | 100 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 4. | ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 102 |
| 4.1. | Rendimiento real de máquinas y equipos de la instalación. | 102 |
| 4.1.1. | Cálculo de eficiencia de motores. | 103 |
| 4.1.2. | Multiplicadores de velocidad. | 113 |
| 4.1.3. | Rendimiento de las bombas que están acopladas a los motores de combustión interna. | 117 |
| 4.1.4. | Rendimiento del motor eléctrico ABB..... | 120 |
| 4.1.5. | Rendimiento de la bomba. | 126 |
| 4.1.6. | Evaluación de cada grupo de bombeo. | 129 |
| 4.1.6.1. | Rendimiento de los Grupos I, II, III (motor de combustión interna–bomba centrífuga). | 129 |
| 4.1.6.2. | Rendimiento del grupo IV (motor eléctrico –bomba centrífuga). | 130 |
| 4.1.7. | Rendimiento de los motores eléctricos de los ventiladores.... | 130 |
| 4.1.8. | Rendimiento de los motores eléctricos de los compresores. | 136 |
| 4.2. | Gráficas rendimientos de máquinas y equipos de la instalación. | 140 |
| 4.3. | Producción..... | 143 |
| 4.4. | Curvas de producción vs consumo..... | 148 |
| 4.5. | Costos de consumo de energía..... | 150 |
| 4.6. | Indicadores de eficiencia energética..... | 164 |
| 4.6.1. | Indicadores de consumo. | 164 |
| 4.6.2. | Índice económico energéticos..... | 167 |
| 4.7. | Cuantificación de los gases contaminantes en los motores de combustión interna. | 171 |
| 4.7.1. | Cálculo de emisiones en máquinas y equipos de la instalación..... | 172 |
| 4.8. | Alternativas para el ahorro de energía..... | 175 |

| | | |
|------|-------------------------------------|-----|
| 5. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 186 |
| 5.1. | Conclusiones..... | 186 |
| 5.2. | Recomendaciones..... | 188 |

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

BIBLIOGRAFÍA.

LINKOGRAFÍA.

ANEXOS.

LISTA DE TABLAS

| <u>TABLA</u> | <u>PÁGINA</u> |
|---|---------------|
| 3.1. VALORES PROMEDIO DE LAS DENSIDADES DE CADA UNO DE LOS COMBUSTIBLES ANALIZADOS EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD Y AMBIENTE DE LA PLANTA..... | 48 |
| 3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO..... | 49 |
| 3.3. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA..... | 59 |
| 3.4. DATOS DE PLACA DE LOS MOTORES..... | 61 |
| 3.5. RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE GASES EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA..... | 61 |
| 3.6. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EN EL MOTOR ELÉCTRICO..... | 63 |
| 3.7. DATOS TÉCNICOS DE PLACA DEL MOTOR ELÉCTRICO..... | 64 |
| 3.8. DATOS DE CORRIENTE ELÉCTRICA QUE INGRESA EN EL MOTOR DE INDUCCIÓN..... | 65 |
| 3.9. PROGRAMA DE MANTENIMIENTOS QUE SE REALIZAN CADA 12 MESES..... | 66 |
| 3.10. PROGRAMA DE MANTENIMIENTOS QUE SE REALIZAN CADA 3 MESES..... | 67 |
| 3.11. PROGRAMA DE MANTENIMIENTOS QUE SE REALIZAN CADA SEIS MESES A LOS ACTUADORES..... | 68 |
| 3.12. MANTENIMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES CADA 12 MESES..... | 69 |
| 3.13. DATOS MEDIDOS DIRECTAMENTE EN EL TRANSFORMADOR I (T1)..... | 71 |
| 3.14. DATOS DE PLACA DEL TRANSFORMADOR III (T3)..... | 71 |
| 3.15. DATOS OBTENIDOS DEL TRANSFORMADOR III (T3)..... | 72 |
| 3.16. DATOS DE PLACA DEL TRANSFORMADOR IV (T4)..... | 73 |
| 3.17. DATOS OBTENIDOS..... | 74 |
| 3.18. DATOS OBTENIDOS..... | 75 |
| 3.19. RESUMEN DE LA TOMA DE DATOS DE POTENCIAS ACTIVAS EN LOS TRANSFORMADORES..... | 76 |
| 3.20. DATOS DE PLACA DEL COMPRESOR 201 Y 202..... | 78 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.21. | DATOS DE PLACA DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE LOS COMPRESORES. | 79 |
| 3.22. | DATOS OBTENIDOS DE CORRIENTE Y VOLTAJE..... | 80 |
| 3.23. | DATOS OBTENIDOS DE CORRIENTE Y VOLTAJE..... | 80 |
| 3.24. | DATOS DE PLACA DE LAS BOMBASGUINARD P-201, P-202, P-203 QUE TRABAJAN EN CONJUNTO CON LOS MOTORES MWM. | 81 |
| 3.25. | DATOS OBTENIDOS DE LA BOMBA CENTRIFUGA P-201 | 83 |
| 3.26. | DATOS OBTENIDOS DE LA BOMBA CENTRIFUGA P-202. | 83 |
| 3.27. | DATOS OBTENIDOS DE LA BOMBA CENTRIFUGA P-203. | 83 |
| 3.28. | DATOS DE PLACA DE LA BOMBA CENTRIFUGA P-204..... | 84 |
| 3.29. | DATOS OBTENIDOS DE LA BOMBA CENTRIFUGA P-204. | 85 |
| 3.30. | TIPO DE LÁMPARA SEGÚN SU ÁMBITO DE USO..... | 89 |
| 3.31. | NIVELES DE ILUMINACIÓN MÍNIMA PARA TRABAJOS ESPECÍFICOS Y SIMILARES | 90 |
| 3.32. | DATOS DIRECTOS DE LAS LÁMPARAS QUE FUNCIONAN EN DISTINTAS ÁREAS DE LA PLANTA. | 92 |
| 3.33. | DATOS REALES DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS..... | 93 |
| 3.34. | DATOS TOMADOS DE LOS EQUIPOS DE OFICINA EN CADA UNA DE LAS ÁREAS..... | 94 |
| 3.35. | DATOS TOMADOS DE CADA UNO DE LOS EQUIPOS QUE SE UTILIZAN EN LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD Y AMBIENTE. | 96 |
| 3.36. | DATOS DE PLACA TOMADOS DIRECTAMENTE EN LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO. | 97 |
| 3.37. | RECOLECCIÓN DEDATOS DIRECTAMENTE DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO. | 98 |
| 3.38. | DATOS DE PLACA TOMADOS DIRECTAMENTE EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE LOS VENTILADORES..... | 99 |
| 3.39. | DATOS OBTENIDOS DEL MOTOR DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL VENTILADOR I CON SUS VALORES PROMEDIO EN CADA LÍNEA. | 100 |
| 3.40. | DATOS OBTENIDOS DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL VENTILADOR II CON SUS VALORES PROMEDIO EN CADA LÍNEA..... | 100 |
| 3.41. | DATOS OBTENIDOS DEL MOTORELÉCTRICO DEL VENTILADOR III CON SUS VALORES PROMEDIO EN CADA LÍNEA..... | 101 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.1. | RESULTADOS DE VARIOS PARÁMETROS NECESARIOS PARA HALLAR EL CAUDAL DE COMBUSTIBLE..... | 110 |
| 4.2. | RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE CADA MOTOR | 111 |
| 4.3. | DATOS CARACTERÍSTICOS DEL MULTIPLICADOR. | 113 |
| 4.4. | RESULTADOS DE POTENCIAS Y RENDIMIENTOS EN LOS MULTIPLICADORES. | 116 |
| 4.5. | RESULTADOS DE LOS RENDIMIENTOS DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS ACOPLADAS A LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA..... | 120 |
| 4.6. | VALORES INICIALES, INTERMEDIOS Y FINALES DE CADA UNO DE LOS PARÁMETROS INDICADOS. | 123 |
| 4.7. | RENDIMIENTO Y POTENCIAS DE SALIDA DEL MOTOR ELÉCTRICO PARA DIFERENTES POTENCIAS DE ENTRADA. | 125 |
| 4.8. | RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE CADA GRUPO DE BOMBEO..... | 130 |
| 4.9. | PROMEDIOS DE VOLTAJES Y CORRIENTES DE VENTILADOR I. | 131 |
| 4.10. | PROMEDIOS DE VOLTAJES Y CORRIENTES DE VENTILADOR II..... | 131 |
| 4.11. | PROMEDIOS DE VOLTAJES Y CORRIENTES DE VENTILADOR III..... | 132 |
| 4.12. | POTENCIAS DE ENTRADA EN EL MOTOR DEL VENTILADOR I..... | 132 |
| 4.13. | POTENCIAS DE ENTRADA EN EL MOTOR DEL VENTILADOR II..... | 133 |
| 4.14. | POTENCIAS DE ENTRADA EN EL MOTOR DEL VENTILADOR III..... | 133 |
| 4.15. | FACTOR DE CARGA PARA EL MOTOR DEL VENTILADOR I. | 134 |
| 4.16. | FACTOR DE CARGA PARA EL MOTOR DEL VENTILADOR II..... | 134 |
| 4.17. | FACTOR DE CARGA PARA EL MOTOR DEL VENTILADOR III. | 134 |
| 4.18. | RESULTADOS DE POTENCIAS Y RENDIMIENTOS DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE LOS VENTILADORES..... | 135 |
| 4.19. | PROMEDIOS DE VOLTAJES Y CORRIENTES DEL COMPRESOR I..... | 136 |
| 4.20. | PROMEDIOS DE VOLTAJES Y CORRIENTES DEL COMPRESOR II..... | 136 |
| 4.21. | POTENCIAS DE ENTRADA EN EL MOTOR DEL COMPRESOR I. | 137 |
| 4.22. | POTENCIAS DE ENTRADA EN EL MOTOR DEL COMPRESOR II..... | 137 |
| 4.23. | FACTOR DE CARGA PARA EL MOTOR DEL COMPRESOR I..... | 138 |
| 4.24. | FACTOR DE CARGA PARA EL MOTOR DEL COMPRESOR II..... | 138 |
| 4.25. | RESULTADOS DE POTENCIAS Y RENDIMIENTOS DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE LOS COMPRESORES. | 139 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.26. | RESULTADOS DE PRODUCCIÓN EN LA BOMBA P-204. | 144 |
| 4.27. | RESULTADOS DE PRODUCCIÓN EN LA BOMBA P-204. | 144 |
| 4.28. | RESULTADOS DE PRODUCCIÓN EN LAS BOMBAS P-201 P-202 Y P-203. | 145 |
| 4.29. | RESULTADOS DE PRODUCCIÓN EN LAS BOMBAS P-201, P-202 Y P-203. | 146 |
| 4.30. | BOMBEO TOTAL. | 147 |
| 4.31. | CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL MOTOR ABB Y CANTIDAD TOTAL DE COMBUSTIBLES ENVIADOS POR LA BOMBA P-204. | 148 |
| 4.32. | DATOS TOMADOS DEL SISTEMA EMERGENTE. | 149 |
| 4.33. | RESULTADOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA POR LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO EN CADA UNA DE LAS ÁREAS DE LA PLANTA. | 151 |
| 4.34. | RESULTADOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA DE LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD Y AMBIENTE (L.C.C.A). | 152 |
| 4.35. | RESULTADOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA DE LOS EQUIPOS DE OFICINA EN CADA UNA DE LAS ÁREAS DE LA PLANTA. | 153 |
| 4.36. | RESULTADOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS EN CADA UNA DE LAS ÁREAS DE LA PLANTA. | 154 |
| 4.37. | RESULTADOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA POR ILUMINACIÓN EN CADA UNA DE LAS ÁREAS DE LA PLANTA. | 155 |
| 4.38. | RESULTADOS DE COSTO DE ENERGÍA CONSUMIDA POR LOS ACTUADORES. | 156 |
| 4.39. | RESULTADOS DE COSTO DE ENERGÍA CONSUMIDA POR LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE MANIFOLD DE BOMBAS. | 156 |
| 4.40. | DATOS DE NÚMERO DE REVOLUCIONES Y TIEMPOS PROMEDIO DEL MOTOR ELÉCTRICO ABB. | 158 |
| 4.41. | RESULTADOS DE LOS INDICADORES Y OTROS PARÁMETROS DEL MOTOR ELÉCTRICO ABB. | 159 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.42. | RESUMEN DE LOS CONSUMOS DE ENERGÍA DEL SISTEMA EMERGENTE..... | |
| 4.43. | COSTOS DE PRODUCCIÓN POR VOLUMEN BOMBEADO..... | 162 |
| 4.44. | COSTO POR MES DE LOS DEMÁS COMPONENTES DE LA ESTACIÓN..... | 163 |
| 4.45. | COSTO TOTAL DE ENERGÍA CONSUMIDA EN LA ESTACIÓN..... | 163 |
| 4.46. | RESULTADOS DE LOS INDICADORES DE CONSUMO DEL MOTOR ELÉCTRICO ABB..... | 165 |
| 4.47. | ÍNDICE DE CONSUMO EN EL SISTEMA EMERGENTE..... | 166 |
| 4.48. | RESULTADOS DE LOS ÍNDICES ENERGÉTICOS DEL SISTEMA PRIMARIO..... | 168 |
| 4.49. | ÍNDICE ECONÓMICO ENERGÉTICO..... | 169 |
| 4.50. | RESULTADOS DE LOS ÍNDICES ECONÓMICO ENERGÉTICO DE LA ESTACIÓN..... | 170 |
| 4.51. | RESUMEN DE LOS GASES EFECTO DE LA COMBUSTIÓN..... | 171 |
| 4.52. | LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA EMISIONES DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA..... | 172 |
| 4.53. | RESULTADOS DE LAS EMISIONES DE CO2 EN LA ESTACIÓN..... | 174 |
| 4.54. | RESULTADOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA POR ILUMINACIÓN EN CADA UNA DE LAS ÁREAS DE LA PLANTA CONSIDERÁNDOSE EL USO RACIONAL..... | 177 |
| 4.55. | RESULTADOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA DE LOS EQUIPOS DE OFICINA EN CADA UNA DE LAS ÁREAS DE LA PLANTA..... | 178 |
| 4.56. | RESULTADOS COMPARATIVOS ANTES Y DESPUÉS DEL AHORRO ENERGÉTICO..... | 179 |
| 4.57. | CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO SE AIRE ACONDICIONADO..... | 180 |
| 4.58. | RESULTADOS DEL NUEVO SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO BLOQUE A..... | 182 |
| 4.59. | RESULTADOS COMPARATIVOS DEL AHORRO ENERGÉTICO EN EL BLOQUE A..... | 183 |
| 4.60. | COSTOS DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA EL BLOQUE A..... | 183 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.61. | RESULTADOS COMPARATIVOS DEL AHORRO ENERGÉTICO EN LOS BLOQUES B, C, D Y SIHAMA..... | 184 |
| 4.62. | ALTERNATIVAS PARA MEJORA DE LOS PROCESOS EN FUNCIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. | 185 |

LISTA DE FIGURAS

| <u>FIGURAS</u> | <u>PÁGINA</u> |
|---|---------------|
| 2.1. Multímetro | 6 |
| 2.2. Medidor de calidad de energía..... | 6 |
| 2.3. Analizador de gases..... | 7 |
| 2.4. Cámara fotográfica..... | 7 |
| 2.5. Tiempos en motor de combustión interna basado en el ciclo diesel. | 11 |
| 2.6. Ciclo diesel ideal en un motor de 4 etapas. | 12 |
| 2.7. Representación grafica del efecto invernadero..... | 20 |
| 2.8. Multiplicador de velocidad..... | 24 |
| 2.9. Esquema de las ruedas dentadas de un multiplicador de velocidades. | 26 |
| 2.10. Diagrama de flujo de la clasificación de los compresores..... | 30 |
| 2.11. Diagrama de un compresor de 2 etapas. | 31 |
| 2.12. Compresores en forma de V (a) y en forma de L (b) | 32 |
| 2.13. Motor de inducción..... | 33 |
| 2.14. Diagrama de flujo de potencia de un motor de inducción. | 36 |
| 2.15. Diagrama de flujo de potencia de un motor de inducción | 38 |
| 2.16. Conexión de una bomba centrífuga y un motor eléctrico. | 38 |
| 2.17. Bomba centrífuga axial mutietapas. | 39 |
| 2.18. Diagrama esquemático del variador tipo modulación del ancho del pulso (PWM). | 44 |
| 2.19. Principio de operación de modulación del ancho del pulso..... | 45 |
| 3.1. Tanques de almacenamiento..... | 49 |
| 3.2. Galpón donde se encuentra el grupo de bombeo. | 51 |
| 3.3. Departamento de operaciones..... | 52 |
| 3.4. Ingreso al taller electromecánico..... | 52 |
| 3.5. Talleres y oficinas de mantenimiento en línea | 53 |
| 3.6. Intendencia de la estación Santo Domingo..... | 53 |
| 3.7. Bodega central de la estación..... | 54 |
| 3.8. Laboratorio de control de calidad y ambiente. | 55 |
| 3.9. Gimnasio y habitaciones del personal de SIHAMA..... | 55 |

| | |
|---|----|
| 3.10. Habitaciones del personal de turno..... | 55 |
| 3.11. Habitaciones del personal de turno, cocina y comedor..... | 56 |
| 3.12. Subestación de energía eléctrica de la planta. | 56 |
| 3.13. Panel electrónico donde se recepta los datos del transformador de 13000V..... | 57 |
| 3.14. Motor de combustión Interna que acciona la bomba multietapa P-203..... | 59 |
| 3.15. Motor eléctrico de inducción para generar movimiento rotativo a la bomba multietapa..... | 63 |
| 3.16. Panel en el que se encuentra el display en el que se muestran los parámetros de corriente del motor eléctrico ABB..... | 65 |
| 3.17. Actuador Limitorque, regulado de forma manual | 68 |
| 3.18. Diagrama unifilar de la distribución de los transformadores..... | 69 |
| 3.19. Transformador I (T1). | 70 |
| 3.20. Modulares de control y monitoreo en el que se muestra datos de importantes de la subestación eléctrica. | 71 |
| 3.21. Transformador de 500KV. | 72 |
| 3.22. Conexión trifásica en (Y) de T3..... | 72 |
| 3.23. Obtención de datos con el analizador de calidad de energía T435..... | 73 |
| 3.24. Transformador de 45 KVA. | 74 |
| 3.25. Conexión trifásica en Y de T4 | 74 |
| 3.26. Panel en el que se muestran los datos de voltaje, corriente y otros parámetros que consume la estación. | 75 |
| 3.27. Caseta en el que se encuentra el panel..... | 76 |
| 3.28 Diagrama del sistema aire comprimido | 77 |
| 3.29. Compresores acoplados a sus respectivos motores eléctricos..... | 79 |
| 3.30. Conexión trifásica en delta de los dos motores de los compresores..... | 80 |
| 3.31. Bomba centrífuga axial multietapa. | 82 |
| 3.32. Bomba centrífuga axial multietapaP-204..... | 84 |
| 3.33. Tipos de lámparas..... | 88 |
| 3.34. Eficiencia energética de las lámparas | 91 |
| 3.35. Modelo de los ventiladores para cada uno de los motores MWM. | 99 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.36. | Conexión trifásica en delta de los dos motores pertenecientes a los ventiladores..... | 100 |
| 4.1 | Esquema del sistema primario de bombeo. | 102 |
| 4.2 | Esquema del sistema emergente de bombeo. | 103 |
| 4.3 | Diagrama de p vs v del ciclo diesel. | 103 |
| 4.5. | Gráfica de rendimientos de los grupos de bombeo..... | 140 |
| 4.6. | Gráfica de rendimientos bombas centrífugas multietapa. | 140 |
| 4.7. | Gráfica de rendimientos en cada uno de los motores de combustión interna que funciona en el sistema primario..... | 141 |
| 4.8. | Gráfica de rendimientos en cada uno de los motores Eléctricos de los ventiladores..... | 141 |
| 4.9. | Gráfica de rendimientos en cada uno de los motores eléctricos de los compresores. | 142 |
| 4.10. | Gráfica producción de combustibles de la bomba P-204..... | 143 |
| 4.11. | Gráfica de producción de combustibles de la bomba P-104..... | 144 |
| 4.12. | Gráfica de producción de combustibles de las bombas P-201, P-202 y P-203. | 145 |
| 4.13. | Gráfica de producción de combustibles de las bombas P-201, P-202 | 146 |
| 4.14. | Gráfica de producción total de bombeo de combustibles..... | 147 |
| 4.15. | Gráfica producción- combustible de la bomba P-204..... | 148 |
| 4.16. | Representación de la producción y el consumo de combustible..... | 149 |
| 4.17. | Representación gráfica del índice de consumo en el sistema. | 165 |
| 4.18. | Representación gráfica del índice de consumo para el sistema emergente. | 167 |
| 4.19. | Representación gráfica del índice económico energético en el sistema primario. | 168 |
| 4.20. | Representación gráfica del índice económico energético en el sistema secundario..... | 169 |
| 4.21. | Representación gráfica del índice económico energético de la estación..... | 171 |
| 4.22. | Simulación en el software BTU Calculator..... | 180 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| SÍMBOLO | DEFINICIÓN | UNIDADES |
|-----------|---|----------------------|
| φ | relación de compresión. | |
| N | potencia al freno. | [kW] |
| n_t | rendimiento térmico. | (%) |
| n_v | rendimiento volumétrico. | (%) |
| n_i | rendimiento indicado. | (%) |
| n_m | rendimiento mecánico. | (%) |
| P | potencial térmico. | [kJ/m ³] |
| V | cilindrada total. | [cm ³] |
| N | revoluciones por minuto. | |
| p_1 | presión al inicio de la compresión. | [Pa] |
| p_2 | presión de compresión. | [Pa] |
| p_3 | presión de encendido. | [Pa] |
| p_4 | presión al final de la expansión. | [Pa] |
| V_1 | volumen máximo. | [cm ³] |
| V_2 | volumen mínimo. | [cm ³] |
| V_3 | volumen en el encendido. | [cm ³] |
| V_4 | volumen al final de la expansión. | [cm ³] |
| T_1 | temperatura al inicio de la compresión. | [°K] |
| T_2 | temperatura de compresión. | [°K] |
| T_3 | temperatura de encendido. | [°K] |
| T_4 | temperatura de gases de escape. | [°K] |
| K | constante del aire. | |
| τ' | relación de combustión. | [cm ³] |
| V | cilindrada total. | [cm ³] |
| V_p | cilindrada parcial. | [cm ³] |
| D | diámetro interno del pistón | [cm] |
| L | carrera del pistón. | [cm] |
| c_v | del aire a volumen constante. | [kJ/(Kg*°K)] |

| | | |
|--------------|--|-----------------------|
| c_p | constante del aire a presión constante. | [kJ/(Kg*°K)] |
| ΔH_i | poder calorífico inferior. | [kJ/kg] |
| $r_{a/c}$ | relación aire combustible. | |
| P | densidad de la carga en condiciones normales. | [kg/m ³] |
| PM_C | peso molecular del carbono. | [gr/mol] |
| PM_H | peso molecular del hidrógeno. | [gr/mol] |
| PM_{aire} | peso molecular del aire. | [gr/mol] |
| x_i | fracción gravimétrica de los gases de la mezcla. | |
| R_i | constante de cada uno de los gases. | [J/kg °K] |
| m_c | flujo de combustible. | [kg/s] |
| ΔH_i | poder calorífico inferior. | [kJ/kg] |
| V | caudal. | [m ³ /s] |
| N_s | potencia de salida. | [kW] |
| N_e | potencia de entrada. | [kW] |
| N_s | potencia efectiva. | [kW] |
| P_T | potencia de pérdidas. | [kW] |
| P_{eng} | pérdidas por rozamiento en los engranes. | [kW] |
| P_{ag} | pérdidas por agitación del aceite. | [kW] |
| P_{coj} | pérdidas por rozamiento en los cojinetes. | [kW] |
| F | coeficiente de fricción entre los dientes. | |
| Z_1 | número de dientes piñón. | |
| Z_2 | número de dientes rueda. | |
| R_{p1} | radio circunferencia de cabeza piñón. | [cm] |
| R_{p2} | radio circunferencia de base piñón. | [cm] |
| R_{r1} | radio circunferencia de cabeza rueda. | [cm] |
| R_{r2} | radio circunferencia de base rueda. | [cm] |
| B | ancho del diente. | [cm] |
| α_t | ángulo de presión. | [grados] |
| B | ángulo de hélice. | [grados] |

| | | |
|----------------|---|-----------|
| P | paso. | [cm] |
| μ . | viscosidad cinemática. | [cSt] |
| V | velocidad tangencial. | [m/s] |
| R | radio del piñón. | [m] |
| N | Rpm. | |
| f_c | coeficiente de fricción del cojinete respecto al árbol. | |
| D | diámetro del eje. | [cm] |
| N | rpm. | |
| N | potencia efectiva. | [kW] |
| Ω | velocidad angular. | [rad/s] |
| R_i | constante de cada uno de los gases. | [J/kg °K] |
| τ | torque motriz. | [Nm] |
| F | fuera aplicada en el cojinete. | [N] |
| R | radio de la piñón. | [m] |
| p_p | número de pares de polos. | |
| n_s | velocidad del campo giratorio. | [rpm] |
| F | frecuencia de la red. | [Hz] |
| S | deslizamiento. | (%) |
| n | velocidad del rotor. | [rpm] |
| P_{eM} | potencia de entrada del motor eléctrico. | [kW] |
| V | voltaje que consume el motor eléctrico. | [V] |
| I | corriente que consume el motor eléctrico. | [A] |
| $\cos \varphi$ | factor de potencia. | |
| P_{sM} | potencia de salida del motor eléctrico. | [kW] |
| P_{eM} | potencia de entrada del motor eléctrico. | [W] |
| H | eficiencia del motor eléctrico. | (%) |
| I_p | corriente de placa. | [A] |
| V | voltaje línea – línea | [V] |
| V_p | voltaje línea – línea de placa. | [V] |

| | | |
|----------------|--|---------------------------|
| γ | peso específico del fluido. | [kg/m ³] |
| g | constante de la gravedad. | [m/s ²] |
| ρ | densidad del líquido. | [kg/m ³] |
| Q | caudal. | [m ³ /s] |
| \bar{V}_{bd} | velocidad del fluido en la salida la bomba | [m/s] |
| \bar{V}_{bs} | velocidad del fluido en la succión de la bomba . | [m/s] |
| A_s | área de la sección transversal en la tubería de succión. | [m ²] |
| A_d | área de la sección transversal en la descarga. | [m ²] |
| d_s | diámetro de la tubería en la succión. [m] | [m] |
| d_d | diámetro de la tubería en la descarga. | [m] |
| V_b | velocidad de la bomba. | [m/s] |
| Q | caudal de la bomba. | [m ³ /s] |
| H_m | altura manométrica o altura útil efectiva | [m] |
| P_{sb} | potencia de salida de la bomba. | [kW] |
| γ | peso específico. | [kg/m ³] |
| P_{eb} | potencia de entrada en la bomba. | [kW] |
| η | rendimiento. | (%) |
| P_{db} | presión de salida o descarga de la bomba. | [N/m ²] |
| P_{eb} | presión de entrada de la bomba. | [N/m ²] |
| Z_1 | altura desde la succión. | [m] |
| Z_2 | alturas desde la descarga. | [m] |
| P_{sVF} | potencia de salida del variador de frecuencia | [kW] |
| P_{eVF} | potencia de entrada del variador de frecuencia. | [kW] |
| η_V | rendimiento del variador de frecuencia . | (%) |
| T_1 | potencia de la subestación. | [kW] |
| II | indicador de las intensidades de CO ₂ | [(gCO ₂)/kWh] |

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1. Resultado del análisis de gases.
- ANEXO 2. Datos técnicos del motor eléctrico ABB.
- ANEXO 3. Datos técnicos de los actuadores.
- ANEXO 4. Datos técnicos de los compresores.
- ANEXO 5. Datos técnicos de las bombas P-201, P-202, P-203.
- ANEXO 6. Datos técnicos de la bomba P-204.
- ANEXO 7. Protocolo de entrega.
- ANEXO 8. Planillas de consumo eléctrico.
- ANEXO 9. Datos técnicos del sistema de aire acondicionado.
- ANEXO 10. Datos de costos para el sistema de aire acondicionado.

RESUMEN

Se ha desarrollado una auditoría energética de las instalaciones de la estación de bombeo de Santo Domingo del poliducto Esmeraldas- Santo Domingo – Quito- Macul de la gerencia de transporte y almacenamiento perteneciente a la empresa pública EPPETROECUADOR, con la finalidad de conocer los consumos de energía eléctrica y térmica en este tipo de industria, para establecer alternativas de ahorro de energía y determinar el diagnóstico de la planta, para las mediciones en motores de combustión interna se usó un analizador de gases, y para motores eléctricos, transformadores, etc., un multímetro y un medidor de calidad de energía. Se obtuvieron registros de mantenimiento, catálogos de las maquinas y equipos. Se realizó la toma de datos de potencia en cada uno de ellos y con herramientas de cálculo se determinó el consumo de energético, indicadores de consumo, económico-energético y emisiones al ambiente en toneladas métricas de CO₂.

Los consumos de energía eléctrica y combustible en cada uno de los sistemas tienen como resultados: 398 505,2 kWh de energía eléctrica en el sistema primario con un costo mensual de 27 895 USD, una producción de 782 490 barriles de combustibles, y un costo de barril bombeado de 0,0356 USD, mientras que para el sistema emergente el consumo fue 85,714 m³ de diesel y el costo mensual de 23 988,622 USD, con una producción de 650 952 barriles de combustibles y con un costo por barril bombeado de 0,037 USD. Mientras que la estación tiene como resultado 352,926 toneladas métricas de CO₂ emitidas al ambiente.

Se recomienda que se incluyan costos de mantenimiento al análisis de índice económico energético para tener un resultado más real en los costos por barril bombeado tanto en el sistema primario y secundario. Además se debe realizar una campaña de concientización para el uso racional de la energía eléctrica.

ABSTRACT

Energetic audit in the Pumping Station of Santo Domingo of the pipeline Esmeraldas, Santo Domingo, Quito – Macul of EPPETROECUADOR Company.

The problem is to know the basic causes about energetic and thermal consumption in these kind of industries, to establish alternatives of saving energy and determine the diagnosis of the plant.

To measure the internal combustion engine, we used a gas analyzer and for electric engine, transformers, etc., a millimeter and meter of energy quality. We got the following maintenance register, machines and equipment catalogue. We took some data of power in each one of them and with calculation tools we determined the energy consumption, consumption indicators, economic - energetic and emissions to the environment and metric ton of CO₂.

The consumption of electric energy and fuel in each one of the systems, have the following results: 398 505, 2 kWh of electric energy and the primary system with a month cost of 27 895 USD, a production of 782 490 barrels of oil, and a cost of pumped barrel of 0,037 USD. While the station has the following results: 352,926 metric tons of CO₂ emitted to environment.

We suggest including costs of maintenance to the analysis of economic and energetic index to have a real result in costs per pumped barrel in the primary and secondary system. Besides must be done a consciousness campaign for the rational use of energy

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

La auditoría energética es una actividad que tiene como objetivo obtener el conocimiento suficientemente íntegro del consumo energético de la empresa, detectando los factores que afectan dicho consumo e identificando las distintas oportunidades de ahorro de energía, evaluadas en función de su rentabilidad, e incluyendo a la energía dentro del campo ambiental.

1.1. Antecedentes.

El ineficiente consumo de energía en nuestro país que se ha producido en los últimos treinta años, da como consecuencia pérdidas económicas considerables para el mismo. Contribuyendo en un cierto porcentaje a la contaminación del ambiente y afectando al mundo entero por el constante cambio climático debido a los gases de efecto invernadero producidos por la quema de los combustibles.

La creciente demanda de combustibles ha dado lugar al aumento de producción y por consiguiente el consumo de energía, por lo tanto ésto conlleva a tomar medidas que ayuden a solucionar este gran problema. Una de ellas sería determinar la cantidad de energía que se consume en cada uno de los procesos para la distribución de combustible mediante una auditoría energética.

Gracias a esta actividad se puede cuantificar la eficiencia de cada uno de los grupos de bombeo, equipos, y máquinas, que se utilizan en la distribución de los combustibles.

De esta manera se verificaría si las partes constitutivas de este proceso están o no dentro de los rangos permitidos de funcionamiento. Lo cual permitiría en un futuro mantener una empresa estatal eficiente.

1.2. Justificación.

La realización de una auditoría energética refleja cómo y dónde se usa la energía de la instalación con el fin de utilizarla racional y adecuadamente.

Se logra evaluar de forma técnica y económica las posibilidades de reducir el costo de la energía de manera rentable sin afectar la cantidad y calidad de su producto.

En lo económico esta auditoría ayuda a comprender mejor cómo se emplea la energía en la empresa y a controlar sus costos, identificando las áreas en las cuales se pueden estar presentando gastos innecesarios en dónde es posible hacer mejoras.

En el campo ambiental este estudio permitirá conocer con exactitud la cantidad de gases contaminantes que emite cada motor de combustión interna, obteniendo así una idea clara de este problema, y proponer alternativas de posibles soluciones, para lograr reducir la contaminación ambiental.

En el aspecto social este trabajo pretende concientizar e incentivar a todos los empleados que se encuentran laborando diariamente en estas instalaciones a tener una buena educación con relación al ahorro de energía para apoyar al desarrollo de la empresa y del país.

En los últimos años en la empresa estatal PETROECUADOR, se ha presentado la necesidad de saber el consumo real de la energía que se presenta en todos los equipos, máquinas, y motores. Por tales motivos existe la necesidad de desarrollar una auditoría energética que permitirá conocer datos reales y actuales sobre el consumo de energía, por lo cual la empresa está dispuesta y lista a brindar su respaldo en este trabajo.

1.3. Objetivos.

1.3.1. General.

Realizar una auditoría energética de las instalaciones de la estación de bombeo de Santo Domingo del poliducto Esmeraldas- Santo Domingo – Quito-Macul de la gerencia de transporte y almacenamiento perteneciente a la empresa pública EPPETROECUADOR.

1.3.2. Específicos.

- Conocer los criterios de las auditorías energéticas aplicadas a los sistemas térmicos, hidráulicos, neumáticos, eléctricos.
- Analizar el estado actual de máquinas, equipos y de las instalaciones de la estación.
- Evaluar las pérdidas y el rendimiento de cada uno de los equipos, máquinas, motores, y demás sistemas que se encuentran en la instalación.
- Estructurar información necesaria de los consumos de energía eléctrica y térmica en este tipo de industria, para establecer alternativas de ahorro de energía.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. El proceso de la auditoría energética.

El proceso de una auditoría recomienda realizar los siguientes pasos:

Paso 1.- Recolección de información básica e inventario general de las instalaciones, identificando el proceso productivo y/o áreas principales, fuentes de energía y consumidores, capacidad instalada y horas de operación, e Información histórica de las facturas de los suministradores de energía

Paso 2.- Elaborar balances de energía, con el objeto de conocer la distribución de energía en las diferentes fases del proceso productivo y/o áreas, es decir la caracterización de carga, toma de datos, registros y mediciones puntuales. Las diferentes formas de energía que entran o salen del sistema deben estar referidas a un mismo período de tiempo y expresadas en las mismas unidades. Los balances deben regirse por el principio de que la energía que se aporta al sistema es idéntica a la que éste cede.

Paso 3.- Determinar la incidencia del consumo de energía de cada equipo o grupo de equipos en el consumo de energía total y por lo tanto en el costo total.

Paso 4.- Obtener índices de consumo de energía los cuales pueden ser usados para determinar la eficiencia energética de las operaciones, y consecuentemente, el potencial de ahorro de energía e índices típicos: consumo específico de energía y factor de carga.

Paso 5.- Determinar los potenciales de ahorro de energía por equipos, áreas o centros de costos, mediante una evaluación técnica detallada en los diferentes campos, como:

- Sistemas eléctricos: evaluación de la transformación y distribución, cargas eléctricas, sistema tarifario, generación propia.
- Sistemas mecánicos: evaluación de sistemas de aire comprimido, sistemas de bombeo, sistemas de manejo de aire, manejo de materiales sólidos.
- Sistemas térmicos: generación de vapor, sistemas de recuperación de calor residual, redes de distribución de fluidos térmicos, sistemas de refrigeración y aire acondicionado, hornos industriales, sistemas de quemadores, etc.

Paso 6.- Identificar las medidas apropiadas de ahorro de energía.

Paso 7.- Evaluación de los ahorros de energía en términos de costos. Se lleva a cabo una evaluación económica que permite realizar un análisis en función de los desembolsos requeridos para poner en práctica las recomendaciones de la auditoría.

Luego de la auditoría energética teniendo como base las conclusiones y recomendaciones de la misma, se ejecutará un plan de acción. Estos resultados deben ser conocidos por todo el personal de la empresa porque de esa manera comienza a crearse un buen ambiente de motivación y concientización.

Las acciones correctivas deben iniciarse con las medidas necesarias, y divulgar sus resultados para una mayor motivación del personal. Asimismo, debe complementarse el programa con cursos de capacitación dirigidos al personal, y de incentivos. Lo que incidirá en mayores rendimientos del mismo. [1]

2.1.1. Recursos para la realización de una auditoría energética.

Para el desarrollo de adquisición de datos es necesario contar con los instrumentos necesarios, el personal quien desarrolle las mediciones debe tener

un buen conocimiento sobre el uso y funcionamiento de cada instrumento además conocer normas para mediciones en auditorías energéticas como en el caso del análisis de gases o ser especializado en el área respectiva. Entre otros recursos importantes se tiene lo que es la información de los registros y antecedentes de mantenimiento de varios equipos y máquinas. [1]

De esta manera los instrumentos que se utilizan en el análisis de una auditoría son los siguientes:

- Multímetro.
- Medidor de calidad de energía (Fluke 435)
- Flexómetro.
- Analizador de gases (Testo350XL)
- Cámara fotográfica.



Figura 2.1. Multímetro [2]



Figura 2.2. Medidor de calidad de energía.



Figura 2.3. Analizador de gases. [3]

No se lo considera como un instrumento de medición pero para la recolección de imágenes de los detalles de la planta se necesitó una cámara fotográfica, esta debe tener buena fidelidad para que las fotos sean divisadas de la mejor manera.



Figura 2.4 Cámara fotográfica. [4]

2.2. Estaciones de bombeo.

Una estación de bombeo es un conjunto de estructuras civiles, máquinas, equipos, tuberías y accesorios, que permiten el transporte de diferentes fluidos, entre los principales están: el agua necesaria para la vida y los combustibles de principal consumo para el desarrollo de un país.

El bombeo se lo hace directamente tomando de la fuente de abastecimiento para impulsar a un reservorio o tanque de almacenamiento o directamente a la red de distribución. [5]

2.2.1. Elementos de las estaciones de bombeo.

Los componentes básicos de una estación de bombeo contemplan los siguientes elementos:

- Tanque de almacenamiento.
- Grupo de bombeo.
- Grupo generador de energía y fuerza motriz.
- Tubería de succión.
- Tubería de impulsión.
- Válvulas de regulación y control.
- Tableros de protección y control eléctrico.
- Sistema de ventilación, natural o mediante equipos.
- Área para el personal de operación. [5]

2.2.2. Ubicación de la estación de bombeo.

La estación de bombeo está seleccionada de tal manera que permita un funcionamiento seguro y continuo, considerando lo siguiente:

- Fácil acceso en las etapas de construcción, operación y mantenimiento.
- Protección de inundaciones, deslizamientos, y crecidas de ríos.
- Eficiencia hidráulica del sistema de impulsión o distribución.
- Disponibilidad de energía eléctrica, de combustión u otro tipo.

- Topografía del terreno. [5]

2.2.3. Capacidad de la estación de bombeo.

La determinación del caudal de bombeo debe realizarse sobre la base de la concepción básica del sistema de abastecimiento de las etapas para la implementación de las obras y del régimen de operación previsto para la estación de bombeo. Los factores a considerar son los siguientes:

- Periodo de bombeo.
- Tipo de abastecimiento. [5]

2.2.4. Número de unidades de bombeo.

Depende del caudal de bombeo y de sus variaciones, además, de la necesidad de contar de equipos de reserva para atender situaciones de emergencia.

En situaciones donde se requiere solo un equipo de bombeo, es recomendable instalar uno idéntico de reserva, estableciendo un coeficiente de seguridad del 200%; pero si el tamaño de los equipos resulta muy grande, es recomendable incrementar el número de ellos, estableciendo coeficientes de seguridad menores, pero mayores alternativas y menores costos de operación. En tales casos puede admitirse hasta 150% como coeficiente de seguridad de los equipos. [5]

2.2.5. Tipos de bombas.

Las bombas más frecuentemente usadas en el abastecimiento de combustibles son las bombas centrífugas, horizontales y verticales. El proyectista de acuerdo a las características del proyecto, seleccionará el tipo de bomba más adecuada a las necesidades del mismo. [5]

2.3. Motores de combustión interna.

Son máquinas que convierten la energía química proveniente de un combustible en energía mecánica.

Una clasificación de los motores es por el combustible que utilizan dentro de éstos tenemos: los de gasolina y diesel principalmente; otra clasificación depende del tiempo operativo del motor así tenemos: motores de dos tiempos 2T y cuatro tiempos 4T.

La diferencia principal radica en la relación de compresión φ .

$$6 \leq \varphi \leq 10 \quad \text{para motores de gasolina}$$

$$12 \leq \varphi \leq 22 \quad \text{para motores diesel} \quad [6]$$

Se prestará mayor énfasis al motor diesel, en cuanto a su funcionamiento y así poder determinar el rendimiento de este tipo de motor.

Los principales procesos que cumple un motor de 4T son:

1 Admisión: En esta etapa se abre la válvula de admisión permitiendo el llenado del cilindro con el comburente (oxígeno del aire) y simultáneamente el descenso del pistón hacia el P.M.I.

2 Compresión: La válvula de admisión se cierra, el pistón asciende hasta el P.M.S. y el aire del interior se comprime aumentando su temperatura.

3 Explosión: El inyector suministra combustible y debido a la alta presión y alta temperatura del aire comprimido el combustible se enciende y da inicio a la combustión, los gases generados se expansionan y empujan al pistón hacia el P.M.I. para que realice el trabajo útil en el descenso.

4 Escape. Cuando el pistón se acerca al P.M.I. es su carrera de descenso, la válvula de escape se abre permitiendo evacuar los gases producto de la combustión, la misma que continúa mientras el pistón realiza su carrera de ascenso hacia el P.M.S. habiéndose abierto la válvula de admisión antes de que el

pistón llegue al P.M.S., mientras que la válvula de escape se cierra después que el pistón ha pasado en P.M.S. e inicia su carrera de descenso. [6]

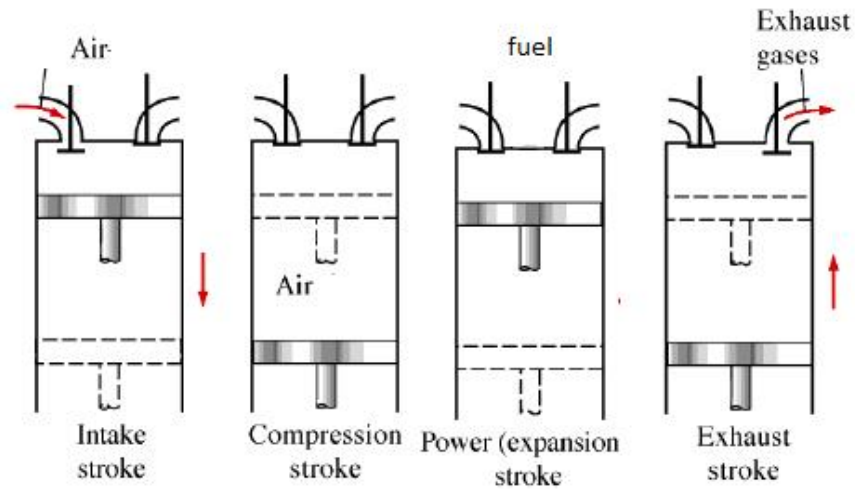


Figura 2.5. Tiempos en motor de combustión interna basado en el ciclo diesel. [7]

Para determinar el rendimiento de esta clase de motores, se utilizará la ecuación:

$$\eta = \frac{N}{Q_c} \quad (2.1)$$

Donde:

N = potencia al freno (potencia de salida). [kW]

Q_c = calor aportado por el combustible. [kW]

La potencia de salida a su vez se la calculará con:

$$N = \frac{2}{z} * \eta_t * \eta_v * \eta_i * \eta_m * P * V * \frac{n}{60} \quad (2.2)$$

Donde:

z = tiempo operativo del motor (4 para 4T).

η_t = rendimiento térmico (ciclo térmico Diesel).

η_v = rendimiento volumétrico.

n_i = rendimiento indicado.

n_m = rendimiento mecánico.

P = potencial térmico. [kJ/m³]

V = cilindrada total. [cm³]

n = revoluciones por minuto.

El **rendimiento térmico** es la relación entre el trabajo medido del área del ciclo ideal y el equivalente en trabajo del calor introducido en este ciclo. [6]

Para este tipo de motor se lo calculará bajo las condiciones del ciclo Diesel. Este se aplica para motores estáticos y lentos.

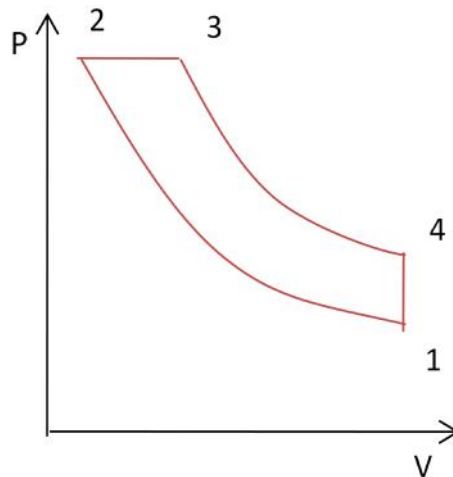


Figura 2.6. Ciclo diesel ideal en un motor de 4 etapas.

$$1 - 2 \quad s = \text{cte} \quad p_1 V_1^k = p_2 V_2^k \quad (2.3)$$

$$2 - 3 \quad p = \text{cte} \quad \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \quad (2.4)$$

$$3 - 4 \quad s = \text{cte} \quad p_3 V_3^k = p_4 V_4^k \quad (2.5)$$

$$4 - 1 \quad v = \text{cte} \quad \frac{P_4}{T_4} = \frac{P_1}{T_1} \quad (2.6)$$

Donde:

p_1 = presión al inicio de la compresión. [Pa]

p_2 = presión de compresión. [Pa]

p_3 = presión de encendido. [Pa]

p_4 = presión al final de la expansión. [Pa]

V_1 = volumen máximo. [cm³]

V_2 = volumen mínimo. [cm³]

V_3 = volumen en el encendido. [cm³]

V_4 = volumen al final de la expansión. [cm³]

T_1 = temperatura al inicio de la compresión. [°K]

T_2 = temperatura de compresión. [°K]

T_3 = temperatura de encendido. [°K]

T_4 = temperatura de gases de escape. [°K]

k = constante del aire. (1,4) [6]

τ = relación de combustión. (1,55) [6]

Recordando que:

$$\varphi = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.7)$$

$$V_p = V_1 - V_2 \quad (2.8)$$

$$V_p = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot L \quad (2.9)$$

$$\tau = \frac{V_3}{V_2} \quad (2.10)$$

Donde:

φ = relación de compresión.

V = cilindrada total. [cm³]

V_p = cilindrada parcial. [cm³]

d = diámetro interno del pistón. [cm]

L = carrera del pistón. [cm]

Calculado el valor de V_p con (2.9); se reemplaza en (2.8) y se despeja V_1 en función de V_2 ; por último se reemplaza en (2.7) y se tiene V_2 , por ende V_1 .

$$V_2 = \frac{\frac{\pi d^2 L}{4}}{\varphi - 1} \quad (2.11)$$

Para obtener V_3 se sustituye en (2.10) los valores obtenidos y se despeja:

$$V_3 = \tau V_2$$

$V_1 = V_4$ por ser constante el volumen.

$p_2 = p_3$ debido a que la presión es constante.

La p_1 se la calcula con la ecuación (2.3) entonces:

$$p_1 = p_2 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^k$$

La p_4 se la calcula con la ecuación (2.5) y así:

$$p_4 = p_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^k$$

La T_1 se la despeja de la ecuación (2.6) entonces:

$$T_1 = \frac{T_4 p_1}{p_4}$$

Obtenidas las dos temperaturas se puede calcular el resto de temperaturas, éstas sirven para determinar el rendimiento térmico con la ayuda de las siguientes ecuaciones:

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} \quad (2.12)$$

Donde:

c_v = constante del aire a volumen cte.

c_p = constante del aire a presión cte.

- **Rendimiento volumétrico.**- Es la relación entre la masa del aire efectivamente introducido al cilindro y la masa de la mezcla.
- **Rendimiento indicado.**- Es la relación entre el área del ciclo indicado y el área del ciclo ideal.
- **Rendimiento mecánico.**- Es la relación entre el trabajo útil medido en el eje a la salida del motor y el trabajo indicado.
- **Potencial térmico.**- Es el poder calorífico de la unidad de volumen de la mezcla en condiciones normales.

$$P = \frac{\Delta H_i}{r_{a/c}} \rho \quad (2.13)$$

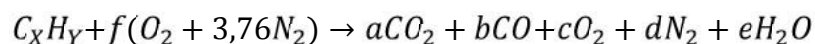
Donde:

ΔH_i = poder calorífico inferior del fuel oil N°2 (43 961,4 kJ/kg) [6]

$r_{a/c}$ = relación aire combustible.

ρ = densidad de la carga en condiciones normales. [kg/m³]

Iniciando en la ecuación de la combustión:



Y mediante el análisis de gases producto de la combustión se obtendrán a, b y c que son las cuantificaciones de los gases: dióxido de carbono, monóxido de

carbono y oxígeno respectivamente, componentes necesarios que intervienen en el proceso:

$$d = 100\% - (a + b + c) \quad (2.14)$$

Se realiza el balance de forma que las dos partes de la igualdad se equilibren, y se calcula el valor de f , X , e y Y .

$$f = \frac{d}{3,76}$$

$$X = a + b$$

$$e = 2f - (2a + b + 2c)$$

$$Y = 2e$$

Los valores del peso molecular de los elementos están establecidos y sirven para calcular la masa.

C=12 g/mol.

H=1 g/mol.

Aire=29 g/mol.

$$m_c = PM_C * X + PM_H * Y \quad (2.15)$$

$$m_a = PM_{aire} * (f + (f * 3,76)) \quad (2.16)$$

Donde:

PM_C = peso molecular del carbono.

PM_H = peso molecular del hidrógeno.

PM_{aire} = peso molecular del aire.

Para calcular la relación aire – combustible.

$$r_{a/c} = \frac{m_a}{m_c} \quad (2.17)$$

La densidad de los gases en condiciones ideales se calcula con:

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (2.18)$$

La p_4 y la T_4 corresponden a condiciones del ciclo. La constante R es de la mezcla y obedece a:

$$R = \sum x_i R_i \quad (2.19)$$

Donde:

x_i = fracción gravimétrica de los gases de la mezcla.

R_i = constante de cada uno de los gases. [J/kg °K]

Entonces se tiene que:

$$\Sigma \text{gases} = (a + b + c + d + e)$$

Ahora con la constante R de cada uno se procede a calcular R total de la mezcla de los gases.

$$O_2 = 59,9 \text{ J/kg } ^\circ\text{K}$$

$$CO_2 = 188,96 \text{ J/kg } ^\circ\text{K}$$

$$CO = 296,92 \text{ J/kg } ^\circ\text{K}$$

$$N_2 = 296,86 \text{ J/kg } ^\circ\text{K}$$

$$H_2O = 461,61 \text{ J/kg } ^\circ\text{K}$$

$$R = \left(259,9 * \frac{c}{\Sigma \text{gases}} + 188,96 * \frac{a}{\Sigma \text{gases}} + 296,92 * \frac{b}{\Sigma \text{gases}} + 296,86 * \frac{d}{\Sigma \text{gases}} + 461,61 * \frac{e}{\Sigma \text{gases}} \right)$$

Se reemplaza los datos en (2.18) y se obtendrá la densidad, ahora conjuntamente con la relación aire combustible y el poder calorífico inferior se procede a sustituir en (2.13) para tener el potencial térmico. [8]

Cilindrada total.- Conocida como cilindrada es el producto de la cilindrada parcial por el número de cilindros.

$$V = V_p * i \quad (2.20)$$

Velocidad de giro.- Es la velocidad a la cual gira el cigüeñal y se mide en rpm. [6]

El calor aportado por el combustible se lo cuantifica mediante:

$$Q_c = \dot{m}_c \Delta H_i \quad (2.21)$$

Donde:

\dot{m}_c = flujo de combustible. [kg/s]

ΔH_i = poder calorífico inferior del fuel oil N°2. (43 961,4 kJ/kg) [6]

El flujo de combustible se determina con:

$$\dot{m}_c = \dot{V} * \rho \quad (2.22)$$

Donde:

\dot{V} = caudal. [m³/s]

ρ = densidad del fuel oil N°2. (843,94 kg/m³) [39]

2.3.1. Gases contaminantes.

Al momento de realizarse la combustión en el interior del motor ésta no se realiza de forma completa debido a varios factores y uno de ellos es que la mezcla se enfría y se produce una combustión ineficiente.

Otra razón para esto es la cantidad de oxígeno presente en aire y éste en la mezcla aire combustible, si se tiene exceso de aire entonces la relación es **pobre** y si tiene deficiencia de aire se la conoce como **rica**.

Hay que tener en cuenta que los gases contaminantes han existido siempre pero no en cantidades excesivas, tal es el ejemplo del CO₂ que se halla en el simple hecho de respirar los seres humanos. La naturaleza se encarga de eliminarlo mediante los bosques, estos absorben el dióxido de carbono y expiran oxígeno necesario para la vida.

Cabe resaltar que no todos los gases son disipados por los bosques existen, otros gases mucho más peligrosos para los seres vivos por ejemplo el CO, NO_x, SO_x, etc. Cuyos efectos son tóxicos para los seres vivos y para la naturaleza daños que la alteran produciendo catástrofes naturales. [9]

2.3.2. Efecto invernadero.

La atmósfera de la Tierra está compuesta de muchos gases. Los más abundantes son el nitrógeno y el oxígeno (este último es el que necesitamos para respirar). El resto, menos de una centésima parte, son gases llamados "de invernadero". No los podemos ver ni oler, pero están allí.

El sol irradia energía hacia el espacio una parte de esta llega hasta nuestro planeta, es filtrado gracias a la atmósfera y permite pasar cierta cantidad que es aprovechada por los seres vivos. Por ejemplo las plantas para desarrollarse mediante el proceso de la fotosíntesis, los humanos la utilizan en forma de luz y calor.

Este fenómeno ocurre cuando los gases de efecto invernadero, impiden la salida de los rayos solares que han logrado pasar la capa de ozono, desde la superficie de la tierra hacia el espacio. [10]

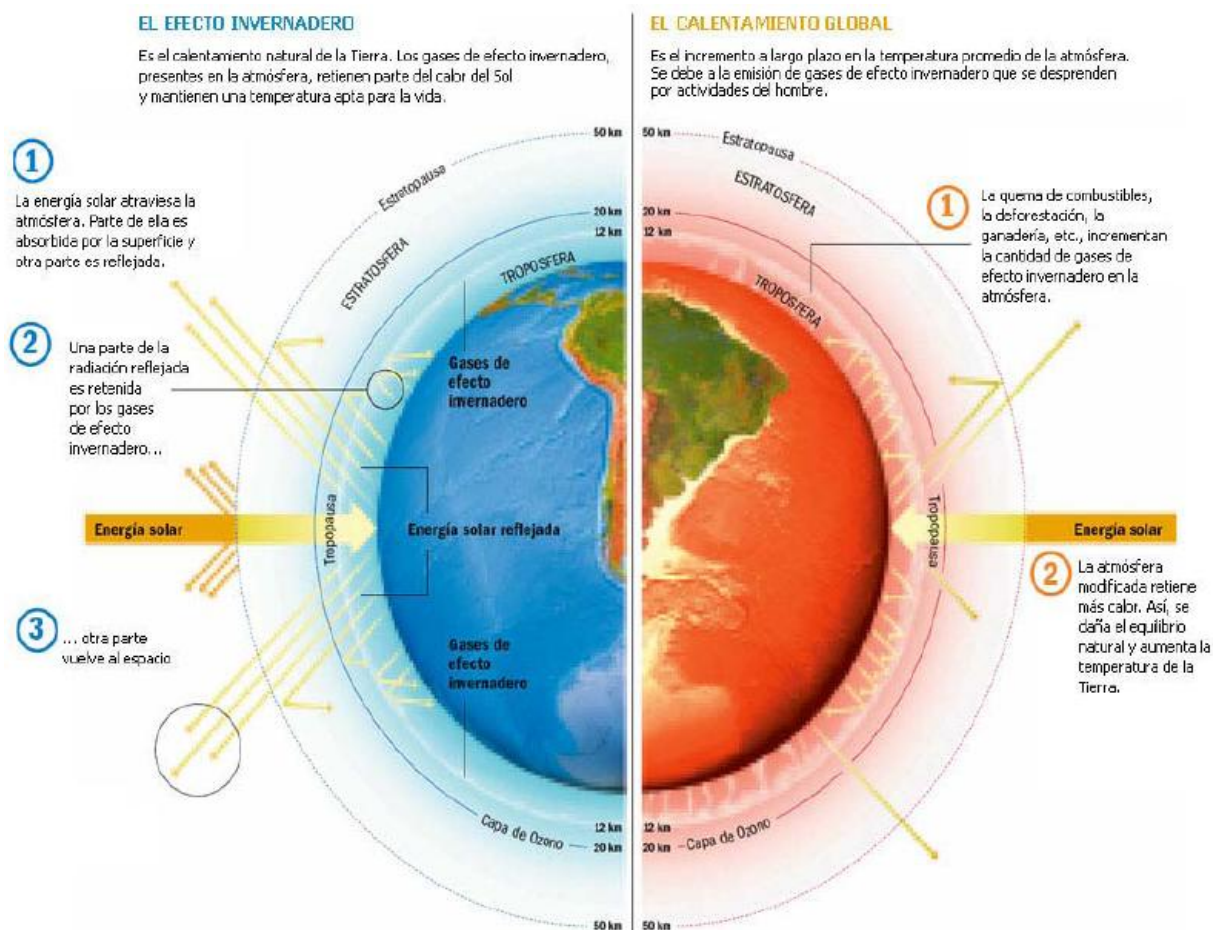


Figura 2.7. Representación gráfica del efecto invernadero. [11]

2.3.3. Gases de efecto invernadero.

Los principales gases que ayuda al efecto invernadero son:

Monóxido de carbono (CO): Es un gas letal, altamente tóxico, inodoro, incoloro e insípido, lo que demuestra su alta peligrosidad debido a que no se lo detecta por los sentidos. De ser inhalado la sangre reduce la capacidad de absorber oxígeno.

El monóxido de carbono se produce por la combustión incompleta de un combustible fósil (falta de oxígeno en la mezcla).

Dióxido de carbono (CO₂): Es el principal agente productor del efecto invernadero provocando el calentamiento global del planeta, que traerá aparejadas consecuencias catastróficas si la humanidad no logra ponerle límite.

A pesar de estas advertencias se continúa contaminando sin responsabilidad, el registro de contaminación indica que se superó en un 5% el límite máximo del año pasado.

Hidrocarburos (HC): Son subproductos de una combustión incompleta (o sea, evacuación de combustible sin quemar). En determinadas situaciones se verifica la presencia de HC, tales como en la puesta en marcha del motor frío, debido a la baja temperatura de las paredes del cilindro que hace necesario el enriquecimiento de la mezcla. Tienen un olor característico, son fácilmente detectables por el olfato y son componentes cancerígenos.

Otros elementos contaminantes son:

Óxidos de nitrógeno (NO_x): Se denominan en general (NO_x). Aparecen debido a la combinación del nitrógeno presente en el aire (casi el 80%) con el oxígeno (O₂) a altas temperaturas (1 300° C) y presiones, produciendo monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂)

Monóxido de nitrógeno (NO): No tiene color, pero en contacto con el oxígeno de la atmósfera se forma un dióxido de nitrógeno (NO₂) de color castaño que ataca el sistema respiratorio. Son muy perjudiciales para el medio ambiente pues son uno de los causales de las lluvias ácidas.

Óxidos de azufre (SO_x): Presentes en gases de escape de motores diesel, debido al alto porcentaje de azufre presente en el gasoil, fundamentalmente el dióxido de azufre (SO₂) que es otro de los "culpables" de la lluvia ácida.

Partículas de carbono: Fundamentalmente en la emisión de gases en motores diesel (de ahí el característico color negro del humo en vehículos) son muy nocivos para el sistema respiratorio y también son cancerígenos. [12]

2.3.4. Extracto de la Norma ISO 14001.

Este tipo de normas se crean por la necesidad de evitar al máximo la contaminación de nuestro planeta, la aplicación de estas trata de reducir los niveles de contaminación y por ende las catástrofes originadas por el cambio del clima, que se han producido en los últimos quince años en todo el mundo.

La serie ISO 14000 está constituida por varias normas, algunas de las cuales se describen brevemente a continuación.

ISO 14001: *Trata de los sistemas de administración ambiental, especificaciones con guía de uso.*

Esta norma especifica el sistema de administración de la serie ISO 14000 y muestra los elementos que deben cubrirse para lograr la certificación.

ISO 14004: *Trata de los sistemas de administración ambiental, es una guía general de principios, sistemas y técnicas de soporte de la norma.*

Está diseñada para las personas que realizan el registro y que serán encargadas de evaluar el cumplimiento de la norma ISO 14001 en una organización. El propósito de esta norma es el servir como una guía de introducción para quienes apenas empiezan a poner en práctica un EMS y es meramente informativa. Incluye ejemplos, descripciones, opciones y recomendaciones para la puesta en marcha y el fortalecimiento de un EMS.

ISO 14010: *Guías para la auditoría ambiental, principios generales.*

Una auditoría ambiental es una verificación sistemática y documentada para determinar si las actividades ambientales, condiciones, sistemas administrativo o de información están en conformidad con el criterio establecido, y si los resultados están siendo comunicados de forma eficiente al cliente.

ISO 14011: *Guías para la auditoría ambiental, procedimientos de auditoría.*

La 14011 se basa en los principios generales establecidos en la norma 14010, y da un panorama amplio de los aspectos a observar en una auditoría.

ISO 14012: *Guías para la auditoría ambiental, criterio de evaluación para los auditores ambientales.*

La 14012 está enfocada a los auditores (externos e internos) y proporciona información en cuanto a educación, entrenamiento, experiencia laboral, atributos personales y habilidades

ISO 14013: *Gestión de los programas de auditoría de gestión medioambiental.*

ISO 14014: *Guía para las revisiones ambientales iniciales.*

ISO 14020/24: *Etiquetado ambiental.*

Llamada "Principios de toda la Clasificación Ambiental". Tiene como propósito ser una guía sobre las metas y principios que deben ser incorporados con consistencia en todos los tipos de programas de clasificación ambiental.

ISO 14024: *Etiquetado ambiental, principios generales, guía para la certificación.* Establece principios y protocolos que los programas de clasificación puedan seguir al desarrollar criterios ambientales para un producto en particular.

ISO 14031: *Evaluación del desempeño ambiental.*

ISO 14040/43: *Ciclo de vida, guías y principios fundamentales.*

ISO 14050: *Conceptos y definiciones.*

ISO 14060: *Guía para la inclusión de aspectos ambientales en los estándares de producto.* [13]

2.4. Multiplicadores de velocidad.

Son mecanismos que permiten alterar la velocidad de giro de un eje, de un cierto número de revoluciones a otro mayor o menor número. Tratando de mantener la

potencia constante. No existe mecanismo perfecto que no presente pérdidas, por lo tanto todos presentarán una eficiencia es decir que la potencia que entra no es igual a la que sale.

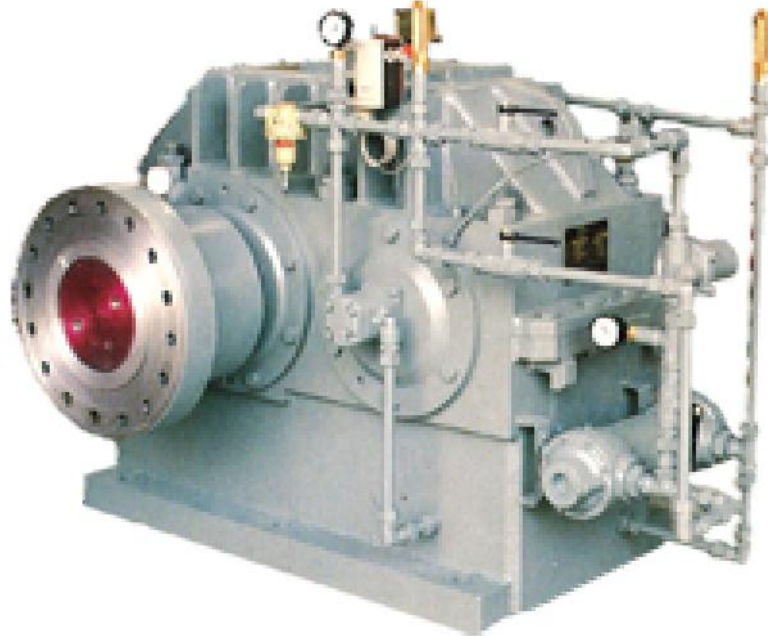


Figura 2.8. Multiplicador de velocidad. [14]

Se clasifican de acuerdo a su funcionamiento, la configuración de sus dientes, la orientación de los ejes.

Por su funcionamiento:

- Multiplicadores de velocidad.
- Reductores de velocidad.

Por la configuración de los dientes:

- De dientes rectos.
- De dientes helicoidales.
- De dientes cónicos.

Por la orientación de los ejes:

- Ejes paralelos.
- Ejes perpendiculares.

Para cuantificar la eficiencia del multiplicador de procede de la siguiente forma es así que:

$$\eta = \frac{N_s}{N_e} \quad (2.23)$$

Donde:

N_s = potencia de salida [kW]

N_e = potencia de entrada. [kW]

A su vez la potencia de entrada se la puede considerar que es:

$$N_e = N_s + P_T \quad (2.24)$$

Donde:

N_s = potencia efectiva (entregada por el motor M.C.I). [kW]

P_T = potencia de pérdidas. [kW]

La potencia de pérdida se la procederá a determinar con (2.25) entonces:

$$P_T = P_{eng.} + P_{ag.} + P_{coj.} \quad (2.25)$$

Donde:

P_{eng} = pérdidas por rozamiento en los engranes. [kW]

P_{ag} = pérdidas por agitación del aceite. [kW]

P_{coj} = pérdidas por rozamiento en los cojinetes. [kW]

Las pérdidas por rozamiento en los engranajes son causadas por las fuerzas de rozamiento entre los dientes. Las fuerzas de rozamiento se acrecientan al

agravarse la aspereza de la superficie, al reducirse la viscosidad del aceite y la velocidad. El valor de dichas pérdidas se puede calcular como: [15]

$$P_{eng.} = \frac{\pi \varepsilon f}{2} \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) N_e \quad (2.26)$$

Donde:

f = coeficiente de fricción entre los dientes. 0,01

Z_1 = número de dientes piñón.

Z_2 = número de dientes rueda.

El coeficiente de recubrimiento de las ruedas que están engranadas se calcula con (2.27).

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{R_{p1}^2 - R_{p2}^2} - R_{p2} \cdot \operatorname{tg} \alpha_t + \sqrt{R_{r1}^2 - R_{r2}^2} - R_{r2} \cdot \operatorname{tg} \alpha_t + B \cdot \operatorname{tg} \beta}{p} \quad (2.27)$$

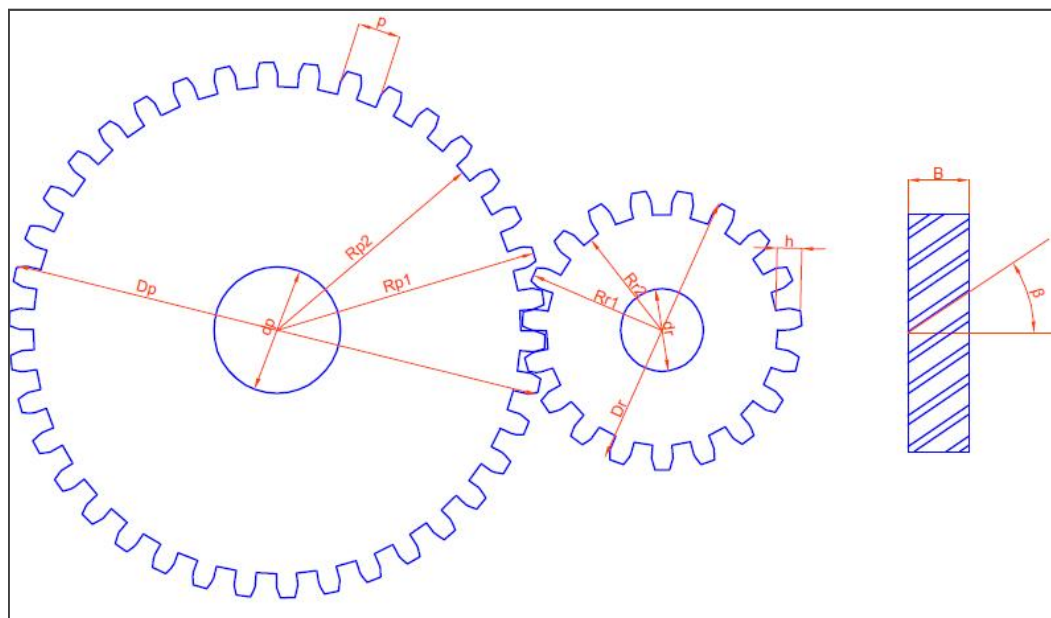


Figura 2.9. Esquema de las ruedas dentadas de un multiplicador de velocidades.

Donde:

R_{p1} = radio circunferencia de cabeza piñón. [cm]

R_{p2} = radio circunferencia de base piñón. [cm]

R_{r1} = radio circunferencia de cabeza rueda. [cm]

R_{r2} = radio circunferencia de base rueda. [cm]

B = ancho del diente. [cm]

α_t = ángulo de presión. [grados]

β = ángulo de hélice. [grados]

p = paso. [cm]

Las pérdidas por agitación del aceite son tanto mayores cuando mayor sea la velocidad periférica, la anchura de la rueda, la viscosidad del aceite y el número sumario de dientes de las ruedas y se determinan por la formula siguiente: [15]

$$P_{ag} = 0,00021V.B \sqrt{\mu.V \frac{200}{Z_1+Z_2}} \quad (2.28)$$

Donde:

μ = viscosidad cinemática del aceite. [cSt]

La velocidad tangencial (V) de la rueda se la calcula con la ecuación (2.29):

$$V = \frac{2\pi n}{60} \cdot r \quad (2.29)$$

Donde:

V = velocidad tangencial. [m/s]

r = radio de la piñón. [m]

n = rpm

Las pérdidas por rozamiento en los cojinetes tienen lugar por el rozamiento de los 4 rodamientos de rodillos, dos en el árbol de la rueda conductora y dos en el de la conducida. Las pérdidas por rozamiento de todos estos rodamientos se determinan por la ecuación: [15]

$$P_{coj} = 7 \times 10^{-6} Q \cdot f_c \cdot d \cdot n \quad (2.30)$$

Donde:

f_c = coeficiente de fricción del cojinete respecto al árbol. (0,008)

d = diámetro del eje. [cm]

n = rpm.

La potencia efectiva se puede expresar como:

$$N = \tau \cdot \omega \quad (2.31)$$

Donde:

N = potencia efectiva. [kW]

ω = velocidad angular. [rad/s]

τ = torque motriz. [Nm]

Y a su vez el torque se puede expresar de la siguiente forma:

$$\tau = F * r \quad (2.32)$$

Donde:

F = fuerza aplicada en el cojinete. [N]

r = radio de la piñón. [m]

La carga aplicada (Q) en el cojinete se calculara despejando de las ecuaciones (2.31) y (2.32).

$$N = F * r * \omega$$

$$F = \frac{N}{r * \omega} \quad (2.33)$$

La carga aplicada (Q) es igual a la fuerza (F) que se encuentra expresada en [N], para efectos de cálculos posteriores se la expresa [kgf].

2.5. Sistemas de aire comprimido.

El uso del aire comprimido es muy común en la industria, su uso tiene la ventaja sobre los sistemas hidráulicos de ser más rápido. En general una red de aire comprimido de cualquier industria cuenta con los siguientes dispositivos:

Filtro del compresor: Este dispositivo es utilizado para eliminar las impurezas del aire antes de la compresión con el fin de proteger al compresor y evitar el ingreso de contaminantes al sistema.

Compresor: Es el encargado de convertir la energía mecánica, en energía de flujo (p.V) comprimiendo el aire. La conexión del compresor a la red debe ser flexible para evitar la transmisión de vibraciones debidas al funcionamiento del mismo.

Postenfriador: Es el encargado de eliminar gran parte del agua que se encuentra naturalmente dentro del aire aspirado en forma de humedad.

Tanque de almacenamiento: Almacena en aire comprimido y permite el asentamiento de partículas y humedad, además de servir como amortiguador de pulsaciones.

Filtros de línea: Se encargan de purificar el aire hasta una calidad adecuada para el promedio de aplicaciones conectadas a la red.

Secadores: Se utilizan para aplicaciones que requieren un aire sumamente seco.

Unidad técnica de mantenimiento: Filtro, reguladores de presión y lubricador.

Redes de aire comprimido: Es una red de distribución de aire comprimido hasta los puntos de utilización. [16]

2.5.1. Clasificación de los compresores.

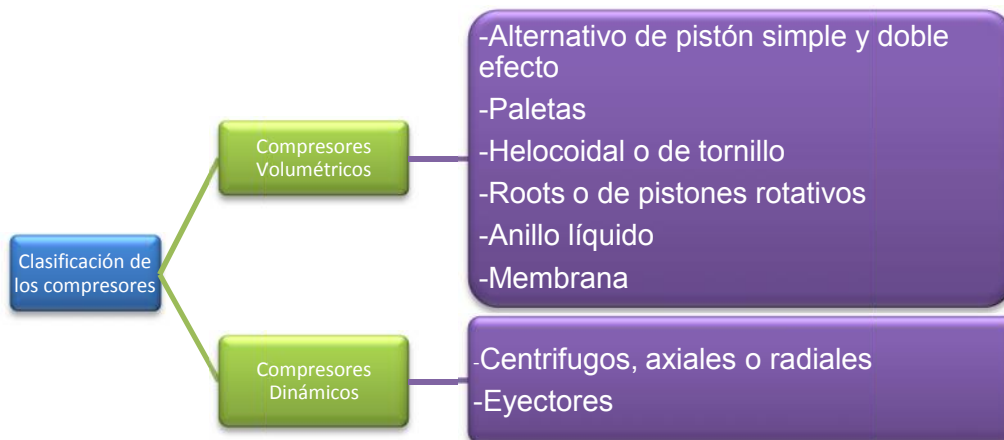


Figura 2.10. Diagrama de flujo de la clasificación de los compresores. [17]

En un compresor volumétrico el flujo de gas que lo atraviesa es siempre constante.

En un compresor dinámico, el flujo de gas que lo atraviesa puede variar según la velocidad del rotor, el fluido adquiere velocidad en el rodete y se convierte en presión en los difusores y volutas.

El campo de utilización de los compresores viene estipulado por su caudal, habitualmente medido en condiciones de admisión y su relación de compresión. [18]

2.5.2. Compresores volumétricos de doble etapa.

En este tipo de compresores, el recorrido del aire en la compresión se realiza en dos etapas por medio de dos cilindros, de los cuales uno hace la compresión de la primera etapa, y el más pequeño de la segunda. La compresión se hace en etapas para compaginar temperatura de compresión y potencia con el fin de mejorar el rendimiento de manera que se puede refrigerar el aire entre cada una de ellas por intercesión de un refrigerador intermedio (con un agente enfriador que puede ser el aire o el agua) cuya acción principal es la de disipar el calor producido durante la compresión.

Otra razón importante de la necesidad de comprimir en dos o más etapas es que se permite mantener la temperatura del gas entre límites medidos. Temperaturas anormalmente altas llevan consigo el riesgo de explosiones en el aceite lubricante, el gas y problemas en las válvulas. [19]

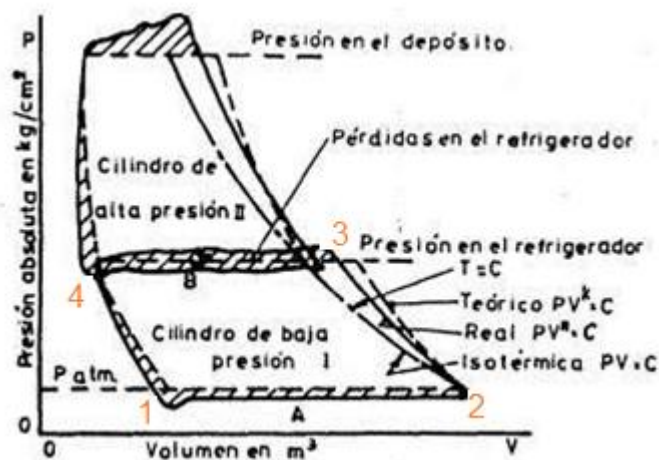


Figura 2.11. Diagrama de un compresor de 2 etapas. [20]

El aire aspirado en A es comprimido en el cilindro de baja presión, al comienzo el pistón se desplaza desde el PMS al PMI abriéndose la válvula de admisión e ingresando gas a una presión P_1 reinante en el conducto de admisión (proceso isobárico 1-2). Posteriormente el pistón empieza a retornar al PMS permaneciendo las válvulas de admisión y compresión cerradas, comprimiéndose el gas hasta alcanzar la presión de trabajo del compresor P_2 , este proceso puede ser: isotérmico 2-3" cuando la refrigeración del compresor es óptima, adiabático 2-3 cuando el compresor tiene una velocidad muy alta, aunque lo más general en los compresores es que este proceso sea politrópico 2-3'. Un proceso politrópico es aquel que cumple con la siguiente relación:

$$P \cdot V \cdot m = \text{constante}$$

Donde:

m = coeficiente poli trópico del gas.

Al alcanzar la presión P_2 se abre la válvula de compresión entregándose el gas a alta presión (proceso isobárico 3-4), y a su salida pasa antes de llegar al otro pistón por el refrigerador intermedio donde recupera su temperatura para iniciar a la segunda etapa que comienza en B, en donde el aire recibido del cilindro de baja presión es vuelto a comprimirse en el cilindro de alta hasta la presión final de descarga. Cabe resaltar que una vez que se acaba la descarga en el pistón de baja en el punto 4 se cierra la válvula de compresión dando lugar al proceso isométrico 4-1 con una rápida caída de presión en el pistón 1 y de esta manera permitiendo que se realice nuevamente el ciclo.

El área rayada Z corresponde a un trabajo perdido que se realiza dos veces sobre el aire, en la expulsión del cilindro de baja presión y en la compresión de alta presión. [21]

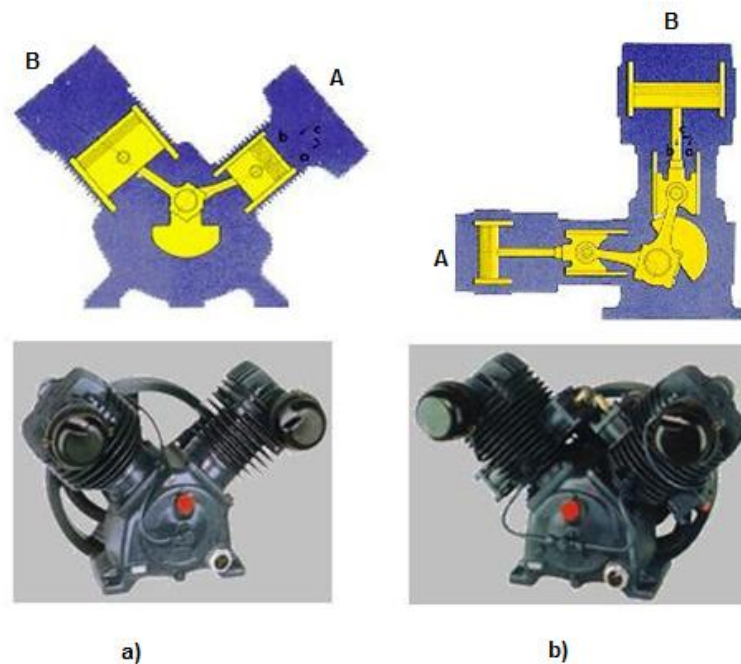


Figura 2.12. Compresores en forma de V (a) y en forma de L (b) [22]

2.6. Motores eléctricos.

2.6.1. Definición.

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

Poseen un buen par de arranque, y como su velocidad depende de la frecuencia que se le aplica, la única forma de regular la velocidad de giro consiste en alimentarlos a través de variadores electrónicos de frecuencia. [23]

2.6.2. Partes de un motor de inducción.

Este motor tiene dos partes principales: estator y rotor. El estator es la parte fija de la máquina en cuyo interior hay ranuras donde se coloca el devanado trifásico que se alimenta con corriente alterna trifásica. La parte giratoria de la máquina se llama rotor y en sus ranuras también se coloca un devanado. El estator y el rotor se arman de chapas estampadas de acero electrotécnico. [23]

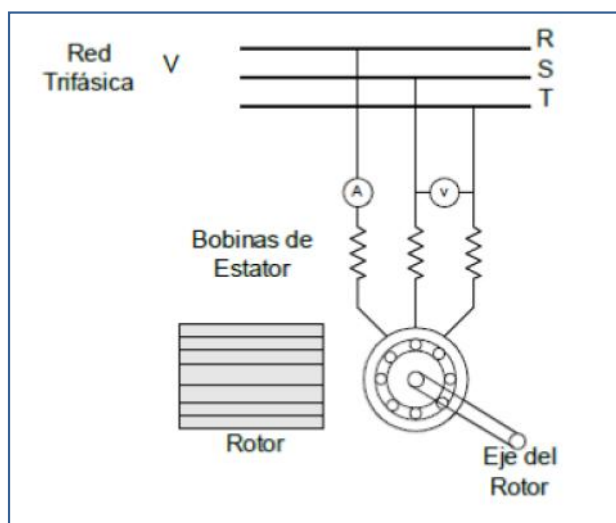


Figura 2.13. Motor de inducción. [24]

El devanado del estator puede ser monofásico o trifásico (en caso general polifásico). En lo sucesivo se analiza el motor trifásico, cuyas bobinas se colocan en las ranuras interiores del estator. Las fases del devanado del estator AX, BY, CZ se conectan en tipo estrella (Y) o triángulo (Δ), cuyos bornes son conectados a la red.

El devanado del rotor también es trifásico (o polifásico) y se coloca en la superficie del cilindro. En el caso simple se une en corto circuito. Cuando el devanado del estator es alimentado por una corriente trifásica, se induce un campo magnético giratorio, cuya velocidad (síncrona) es: [23]

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

Donde:

p_p = número de pares de polos.

n_s = velocidad del campo giratorio. [rpm]

f = frecuencia de la red. [Hz]

2.6.3. Deslizamiento.

La velocidad del rotor nunca puede alcanzar a la del campo giratorio, ya que al ser iguales éstas no se induciría ningún voltaje en el rotor, es decir el rotor siempre girará a una velocidad menor a la de sincronismo (de ahí el nombre asíncrono). [25]

Por lo que de esta forma existe un deslizamiento y se lo define de la siguiente manera:

$$S = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Donde:

S = deslizamiento. (%)

n_s = velocidad del campo giratorio. [rpm]

n = velocidad del rotor. [rpm]

2.6.4. Potencia del motor eléctrico de inducción.

Cuando el motor está en funcionamiento, el estator se alimenta de la red y absorbe una potencia y se la representa de la siguiente forma. [23]

$$P_{e_M} = \sqrt{3} * V * I * \cos \varphi \quad (2.34)$$

Donde:

P_{e_M} = potencia de entrada del motor eléctrico. [kW]

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

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

$\cos \varphi$ = factor de potencia.

2.6.5. Rendimiento.

Parte de la potencia P_1 se consume (disipa) en la resistencia R del devanado del estator ocasionando una pérdida eléctrica ΔP_{el_1} , así como una pérdida magnética en el campo del estator ΔP_{mag} , deduciendo dichas componentes, al rotor se le aplica una potencia electromagnética, que se expresa mediante la siguiente ecuación de balance energético:

$$P_{etmag} = P_1 - \Delta P_{el_1} - \Delta P_{mag} \quad [\text{kW}] \quad (2.35)$$

Parte de esta potencia se disipa en cubrir las pérdidas eléctricas del rotor ΔP_{el_2} en su devanado, la potencia resultante es aquella que va a ser convertida en potencia mecánica, expresado por:

$$P_{mec} = P_{el\text{mag}} - \Delta P_{el2} \quad [\text{kW}] \quad (2.36)$$

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

La potencia mecánica obtenida en el árbol del eje del rotor, se obtiene luego de vencer su inercia y otras pérdidas adicionales, obteniéndose una potencia $P_2 = P_{SM}$. [26]

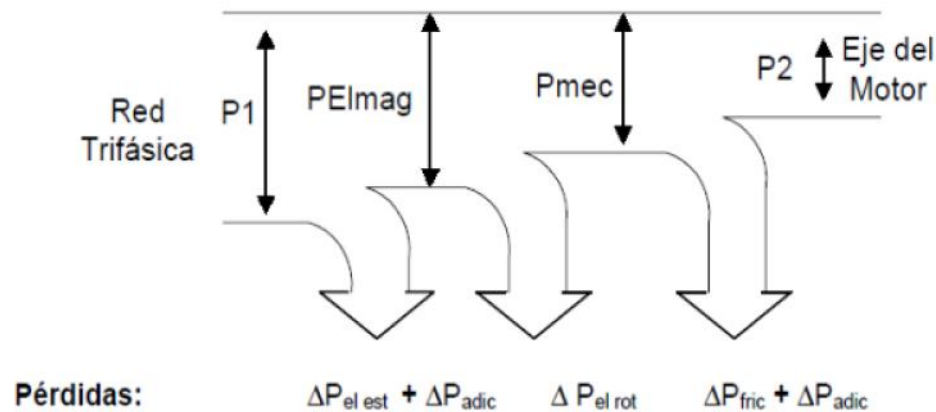


Figura 2.14. Diagrama de flujo de potencia de un motor de inducción. [26]

Por tanto la eficiencia de un motor será expresado de la siguiente forma:

$$\eta = \frac{P_{sM}}{P_{eM}} \quad (2.37)$$

Donde:

P_{sM} = potencia de salida del motor eléctrico. [kW]

P_{eM} = potencia de entrada del motor eléctrico. [W]

η = eficiencia del motor eléctrico. (%)

De igual manera la eficiencia se lo puede expresar en función del % carga.

$$\%carga = \frac{I}{I_p} * \frac{V}{V_p} 100\% \quad (2.38)$$

Donde:

$I =$ corriente de linea. [A]

$I_p =$ corriente de placa. [A]

$V =$ voltaje linea – linea. [V]

$V_p =$ voltaje linea – linea de placa. [V]

Por lo tanto:

$$\eta = \frac{P_{placa}}{P_{eM}} * \%carga$$

Donde la potencia de salida del motor se la expresa de la siguiente manera:

$$P_{sM} = P_{placa} * \%carga \quad (2.39)$$

2.7. Bombas hidráulicas.

2.7.1. Definición.

Bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y la restituye como energía hidráulica al líquido que la atraviesa.

Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos; líquidos alimenticios: leche, jugos, etc.; Estas últimas constituyen el grupo importante de las bombas sanitarias. También se emplean las bombas para líquidos espesos con sólidos en suspensión, como pastas de papel, melazas fangos y desperdicios, etc. [27]

2.7.2. Clasificación de las Bombas.

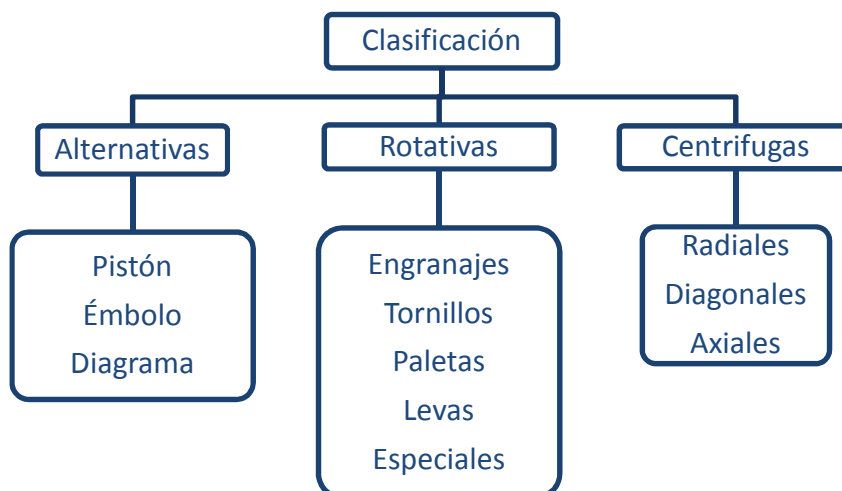


Figura 2.15. Diagrama de flujo de potencia de un motor de inducción. [27]

En este análisis se analizarán las bombas centrifugas puesto que son las que se hallan instaladas en el grupo de bombeo y en otras aplicaciones más.

2.7.3. Bombas centrifugas.

Las bombas centrifugas están conformadas por un rodete una carcasa o voluta el líquido ingresa en el centro y es acelerado por el giro de este y por consiguiente la energía cinética se transforma en energía potencial en la salida. [28]

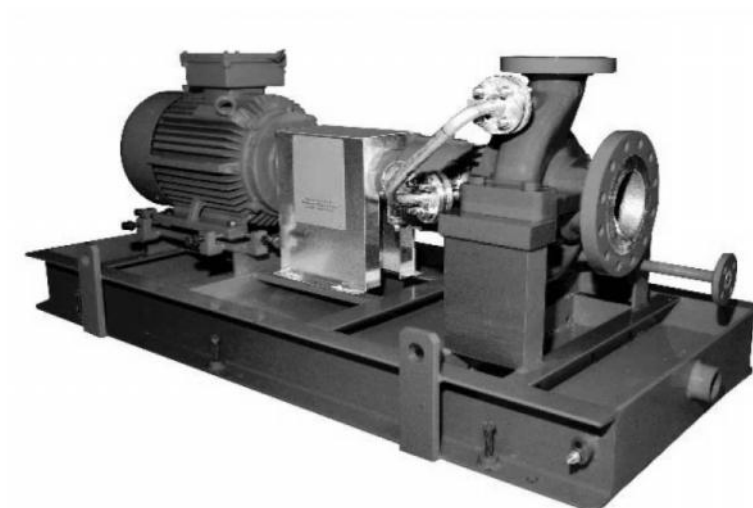


Figura 2.16. Conexión de una bomba centrífuga y un motor eléctrico. [29]

2.7.4. Bombas centrifugas multietapa.

Las bombas multietapa aquellos que tiene más de un rodete y cada etapa representa un rodete y una carcasa.

Las etapas son conectadas en serie de manera que la descarga de una etapa entra en la sección de la siguiente etapa y la descarga de esta entra a la succión de la siguiente. En cada etapa se incrementa una cantidad de energía siendo la energía total la sumatoria de los incrementos de las energías de todas las etapas.

[28]

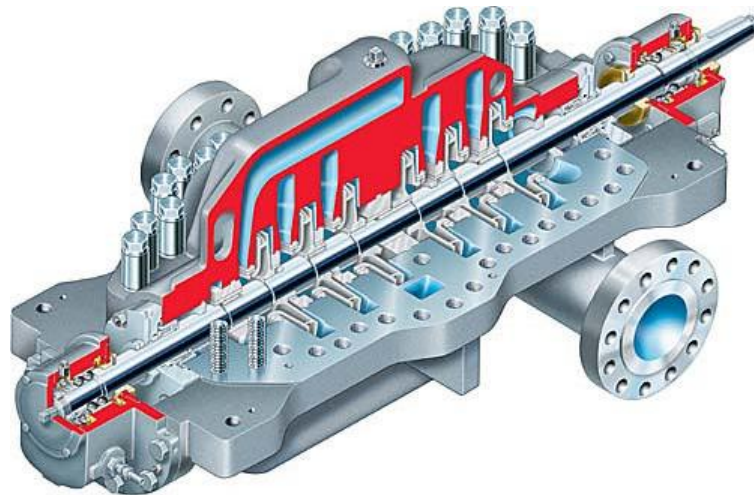


Figura 2.17. Bomba centrífuga axial multietapas. [30]

Peso específico de un líquido o un fluido es el cociente entre el peso de dicho cuerpo y su volumen: P/V . El peso específico representa el peso de la unidad de volumen del mismo líquido o fluido. [27]

Y se la expresa de la siguiente forma:

$$\gamma = \rho * g \quad (2.40)$$

Donde:

γ = peso específico del fluido. $[kg/m^3]$

g = constante de la gravedad. $[m/s^2]$

ρ = densidad del líquido. $[kg/m^3]$

Caudal es el volumen del líquido suministrado por la bomba, por unidad de tiempo. Según la ecuación de continuidad se tiene que el caudal en una bomba es igual a:

$$\dot{V} = A * \bar{V}$$

Si se despeja la velocidad de la bomba se obtiene:

$$\bar{V} = \frac{\dot{V}}{A} [m/s]$$

La velocidad del fluido en la succión será:

$$\bar{V}_{bs} = \frac{\dot{V}}{A_s} \quad (2.41)$$

La velocidad del fluido en la descarga será:

$$\bar{V}_{bd} = \frac{\dot{V}}{A_d} \quad (2.42)$$

El área de la sección transversal en la tubería de succión será:

$$A_s = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} \quad (2.43)$$

El área de la sección transversal en la tubería de descarga será:

$$A_d = \frac{\pi \cdot d_d^2}{4} \quad (2.44)$$

Donde:

$$\dot{V} = \text{caudal. } [m^3/s]$$

$$\bar{V}_{bd} = \text{velocidad del fluido en la salida o en la descarga de la bomba. } [m/s]$$

$$\bar{V}_{bs} = \text{velocidad del fluido en la succión o entrada de la bomba. } [m/s]$$

$A_s = \text{área de la sección transversal en la tubería de succión. [m}^2\text{].}$

$A_d = \text{área de la sección transversal en la tubería de descarga. [m}^2\text{]}$

$d_s = \text{diámetro de la tubería en la succión. [m]}$

$d_d = \text{diámetro de la tubería en la descarga. [m]}$

$V_b = \text{velocidad de la bomba. [m/s]}$

2.7.5. Rendimiento de una bomba.

El rendimiento η de una bomba establece la relación entre la potencia hidráulica suministrada por la bomba y la potencia absorbida por el eje.

$$\eta = \frac{P_{sb}}{P_{eb}} \quad (2.45)$$

2.7.6. Potencia hidráulica suministrada por la bomba.

Es la potencia suministrada por la bomba exclusivamente para bombear al líquido.

$$P_{sb} = \dot{V} * Hm * \gamma$$

La ecuación para la potencia hidráulica también se la puede representar de la siguiente forma:

$$P_{sb} = \dot{V} * Hm * \rho * g \quad (2.46)$$

Donde:

$\dot{V} = \text{caudal de la bomba. [m}^3\text{/s]}$

$Hm = \text{altura manométrica o altura útil efectiva. [m]}$

$P_{sb} = \text{potencia consumida o potencia de salida de la bomba. [kW]}$

$\gamma = \text{peso específico. [kg/m}^3\text{]}$

2.7.7. Potencia absorbida (o potencia al freno).

Es la potencia en el eje de la bomba y equivale a la potencia hidráulica más la potencia consumida de compensar los distintos tipos de pérdidas que se ocasionan en la bomba. Por lo tanto es mayor que la potencia hidráulica.

$$P_{eb} = \frac{\dot{V} * Hm * \gamma}{\eta} \quad (2.47)$$

Donde:

P_{eb} = potencia de entrada en la bomba. [kW]

η = rendimiento (%)

En las bombas centrifugas el rendimiento varia con el caudal y con la altura de elevación un valor medio para los cálculos aproximados sería el de 0,7 (70%). [31]

2.7.8. Altura útil o efectiva de una bomba.

Altura útil es la diferencia de alturas totales entre la entrada y la salida de la bomba. Esta diferencia es el incremento de altura útil comunicada por la bomba al fluido. [28]

De la ecuación de Bernoulli :

$$\frac{P_{eb}}{\gamma} + \frac{\bar{V}_{bs}^2}{2 * g} + Z_1 + Hm = \frac{P_{db}}{\gamma} + \frac{\bar{V}_{bd}^2}{2 * g} + Z_2$$

En consecuencia despejando de la ecuación (2.41) la altura manométrica Hm se obtiene la siguiente expresión:

$$Hm = \frac{p_{db} - p_{eb}}{\rho * g} + \frac{\bar{V}_{bd}^2 - \bar{V}_{bs}^2}{2 * g} + (Z_2 - Z_1) \quad (2.48)$$

Donde:

p_{ab} = presión de salida o descarga de la bomba. $[N/m^2]$

p_{eb} = presión de entrada de la bomba. $[N/m^2]$

Z_1 = altura desde la succión. $[m]$

Z_2 = alturas desde la descarga. $[m]$

Para hallar el rendimiento de todo un sistema es decir motor- bomba se considera lo siguiente:

- a) Cuando la bomba es accionada por un motor eléctrico:

$$\eta = \frac{P_{sb}}{P_{eM}} \quad (2.49)$$

- b) Cuando la bomba es accionada por un motor de combustión interna:

$$\eta = \frac{P_{sb}}{Q_c} \quad (2.50)$$

2.8. Variadores de frecuencia

Es un regulador electrónico de velocidad, está formado por circuitos que incorporan transistores de potencia como el IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) o tiristores, siendo el principio básico de funcionamiento transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable. [32]

Este sistema es utilizado para controlar la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) mediante el control de la frecuencia de alimentación que es suministrado al motor.

2.8.1. Partes de un variador de frecuencia.

Todos los variadores de frecuencia modernos cuentan con las siguientes partes principales:

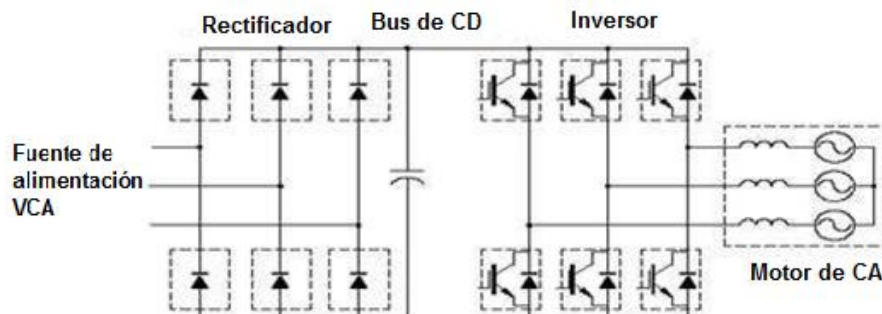


Figura 2.18. Diagrama esquemático del variador tipo modulación del ancho del pulso (PWM). [33].

Circuito rectificador.- Recibe la tensión alterna y la convierte en continua por medio de un puente rectificador de diodos o tiristores. La mayoría de los VDF manufacturados actualmente son del tipo de modulación del ancho del pulso (PWM por sus siglas en inglés) que operan con un voltaje en C.D. suavizado. Los diodos de potencia son usados para producir el voltaje de C.D. fijo y los rectificadores controlados de silicio (SCR's por sus siglas en inglés) son usados para el de voltaje de C.D. variable.

Es importante hacer notar que el voltaje del bus de c.d. es 1.41 veces mayor al voltaje de c.a. pues toma el valor del pico de voltaje y no el voltaje rms, por lo que el voltaje en bus de c.d. de un VDF de 460 volts será de 648 v.c.d.

Circuito intermedio.- También se denomina a esta parte bus de corriente directa consiste en un circuito LC cuya función principal es suavizar el rizado de la tensión rectificadora y reducir la emisión de armónicos hacia la red.

Inversor.- Convierte el voltaje continuo del circuito intermedio en uno de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos por medio de rectificadores controlados de silicio o transistores de potencia IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor) conectados directamente al bus de c.d. y controlados por

microprocesadores, pero esta vez con una frecuencia y voltaje variables para generar los pulsos de voltaje de manera controlada.

Esta generación trifásica de c.a. al hacerse a través de aperturas instantáneas de los transistores aunque tiene ciclos positivos y negativos toma una forma cuadrática e interrumpida similar a la alimentación de entrada simulando la onda senoidal, según las necesidades de frecuencia pero que mantiene la misma relación volts/hertz para el motor, a esta tecnología se le llama modulación del ancho del pulso. (Pulse Width Modulation PWM por sus siglas en inglés). Una tarjeta lógica de microprocesadores determina la frecuencia de conmutación de la sección de inversión, permitiendo un rango amplio de frecuencias de salida al motor, que van desde 0 hasta 300 hertz o más. [34]

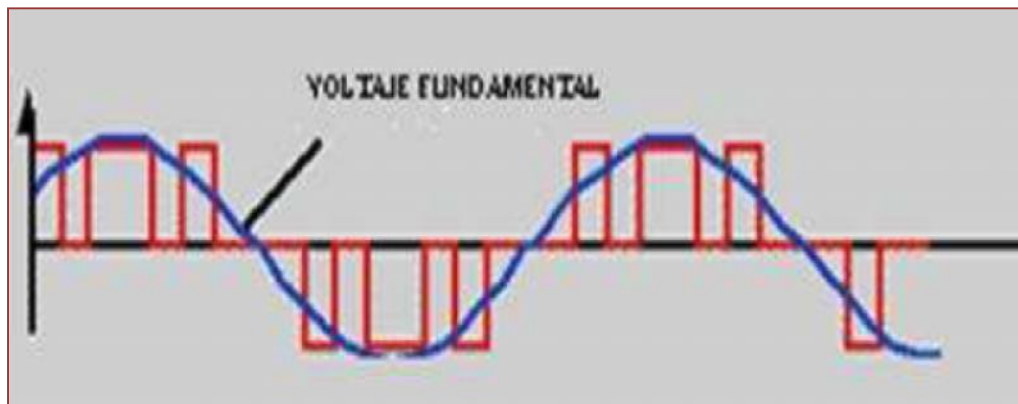


Figura 2.19. Principio de operación de modulación del ancho del pulso. [35]

2.8.2. Aplicaciones industriales de los variadores de frecuencia.

Introducción.

La instalación de los VDF nacen básicamente de dos motivos principales; el primero es el mejoramiento en el proceso en sí, mientras que el segundo es el ahorro de energía.

Sin embargo, la instalación de los mismos puede conllevar los dos fines o uno sólo; para esto es importante conocer los procesos industriales y las necesidades de los mismos, y eso implica conocer los tipos y clases de cargas que existen y se dividen en tres, básicamente, y que más adelante se explican.

Hay que recordar que el par o torque de la máquina es independiente de la velocidad del motor, y que la potencia requerida por la carga es variable y de incrementa conforme aumentemos la velocidad en rpm.

2.8.3. Aplicaciones típicas de variadores de frecuencia.

Los variadores de frecuencia tienen sus principales aplicaciones en los siguientes tipos de máquinas:

Fajas o cadenas transportadoras.- Para poder controlar y sincronizar la velocidad de producción de la planta de acuerdo al tamaño de producto o para controlar los radios de dosificación. Ejemplo: transportadores de botellas o envases.

Bombas centrífugas.- Para realizar un control de caudal determinado o para empleo en sistemas de presión constante y volumen variable. Es la aplicación ideal para un variador de frecuencia, porque representa enormes ahorros en consumo de electricidad. Típicamente reemplazan a sistemas con tanque hidroneumático, tanque elevado, intercambio de calor, etc.

Ventiladores centrífugos.- Al igual que en el caso de bombas centrífugas, su empleo representa grandes ahorros de consumo de electricidad. Se emplean por ejemplo en ventiladores de calderos y hornos, control de presurización de salas de proceso, extractores de aire, fan coils en sistemas de aire acondicionado, torres de enfriamiento, etc.

Bombas de desplazamiento positivo.- Permiten un control exacto de caudal y dosificación por medio del control de la velocidad. Ejemplo: bombas de tornillo, de engranajes, bombas de lóbulos para transporte de chocolate, pulpa de fruta, pasta, concentrados mineros, aditivos químicos, etc.

Ascensores y elevadores.- Permiten un arranque y parada suave del elevador manteniendo el torque del motor, evitando así que la carga su mueva y se golpee.

Extrusoras y prensas de tornillo.- Reemplazan a los sistemas hidráulicos tradicionales proporcionando una variación amplia de velocidad y control total de torque. Ejemplo: prensas de harina de pescado, pasta, plásticos, etc.

Separadores centrífugos.- Realizan un arranque suave y progresivo de la centrífuga evitando los picos de corriente y las velocidades de resonancia del sistema. Otras aplicaciones importantes se dan en laminadoras, prensas mecánicas, compresores de aire, máquinas textiles, máquinas herramienta, pozos de petróleo, etc. [36]

2.8.4. Rendimiento del variador de frecuencia.

Para calcular el rendimiento de un variador de frecuencia se consideran las pérdidas internas ya sean por conducción u otros parámetros, pero se recomienda más que el rendimiento no sea menor del 96% a plena carga y velocidad, esto según ejemplos tomados para aplicaciones en motores ABB, Siemens y en recomendaciones para construcción de variadores de frecuencia basándose en normas internacionales. [37], pero conociendo la potencia de entrada y de salida de un variador también se puede conocer este dato de la siguiente manera:

$$\eta_{VF} = \frac{P_{sVF}}{P_{eVF}} * 100 \% \quad (2.51)$$

Donde:

P_{sVF} = potencia de salida del variador de frecuencia. [kW]

P_{eVF} = potencia de entrada del variador de frecuencia. [kW]

η_v = rendimiento del variador de frecuencia. (%)

CAPÍTULO III

3. DIAGNÓSTICO DE LA INSTALACIÓN.

Lo que se pretende en este capítulo es conocer el estado en que se encuentran los equipos y máquinas de la estación de bombeo pero antes es necesario realizar una descripción de la planta y a su vez indicar la forma de distribución de la misma.

3.1. Descripción de la planta.

El terminal de almacenamiento y despacho de productos limpios se encuentra ubicado en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas cantón Santo Domingo, sector Chigüilpe, km. 10 vía a Quito. Empezó a operar en el año 1980 con una capacidad de almacenamiento de 72 823 bls., la cual ha ido incrementado a 250 394 bls. En esta planta se realiza el control de los procesos de: recepción, almacenamiento, transferencias y despacho de combustibles como: gasolina super, gasolina extra, diesel 2, diesel 1, jet, para satisfacer la demanda de combustibles tanto a las comercializadoras como a otras provincias del país. [38]

TABLA 3.1. VALORES PROMEDIO DE LAS DENSIDADES DE CADA UNO DE LOS COMBUSTIBLES ANALIZADOS EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD Y AMBIENTE DE LA PLANTA. [39]

| Densidades de los combustibles (Kg/m ³) | | | | |
|---|---------|----------------|----------|----------------|
| diesel2 | diesel1 | gasolina extra | jet fuel | gasolina super |
| 843,94 | 847,31 | 751,87 | 806,73 | 747,49 |

3.1.1. Área de almacenamiento.

Existen diferentes tanques en la planta en los cuales se almacena combustible para cuando por algún motivo suceda una paralización en el bombeo desde la otra estación de Esmeraldas, se utiliza para seguir entregando producto a las demás estaciones y de igual forma para la comercialización del mismo.

TABLA 3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

| Tanque No. | Producto | Volumen (bls) | | Tipo de Techo |
|-------------------------------------|------------|----------------|----------------|---------------|
| | | Total | Operativo | |
| TSD 600 | GAS. SUPER | 17 331 | 15 902 | FLOTANTE |
| SUBTOTAL | | 17 331 | 15 902 | |
| TSD 01 | GAS. EXTRA | 61 813 | 56 091 | FLOTANTE |
| TSD 625 | GAS. EXTRA | 13 374 | 11 560 | FLOTANTE |
| TSD 725 | GAS. EXTRA | 29 062 | 27 454 | FLOTANTE |
| SUBTOTAL | | 104 249 | 95 105 | |
| TSD 02 | DIESEL 2 | 69 333 | 62 627 | FIJO |
| TSD 650 | DIESEL 2 | 4 617 | 4 371 | FIJO |
| TSD 675 | DIESEL 2 | 37 052 | 33 931 | FIJO |
| TSD 700 | DIESEL 2 | 6 746 | 6 238 | FIJO |
| TSD 750 | DIESEL 2 | 31 785 | 29 959 | FIJO |
| SUBTOTAL | | 149 533 | 137 126 | |
| CAPACIDAD TOTAL DEL TERMINAL | | 271 569 | 248 702 | |



Figura 3.1. Tanques de almacenamiento.

3.1.2. Área de despacho.

Manifold de bombas:

Para llenar los autotankes se dispone de cuatro bombas marca Peabody Floway, modelo 12 DKM tres etapas, con recipiente vertical de succión, de 10 plg ANSI 150, propulsadores de hierro fundido, cerrado de 7,5 plg de diámetro, de 1 000 GPM, 50 HP, 1 770 RPM y 150 TDH (Total Discharge Heat).

La diferencia de presión de bombeo para la gasolina es de 48 lb/plg.² y para el diesel de 56 lb/plg.². Las bombas de impulsión de despacho, tienen válvulas de control de presión de 4 plg, que permiten la derivación de flujo de descarga, después de la válvula check hacia la succión, con lo que se evita la contra presión o golpe de ariete, así como, se minimiza el incremento de temperatura cuando la bomba opera a baja capacidad.

Además dispone de cuatro filtros con bridas, ubicadas flujo arriba tipo canasta, marca Plenty Jonson, modelo SB-6-300 (S-250, S-206, S-207 y S-208); y válvulas de paso de 6 plg flujo arriba y de 4 plg flujo abajo, de doble bloqueo. [40]

3.1.3. Distribución de la planta.

La distribución de la planta se presenta de la siguiente manera:

- Estación de bombeo.
- Departamento de operaciones.
- Mantenimiento electromecánico.
- Mantenimiento de línea.
- Intendencia.
- Bodega.
- Laboratorio de control de calidad y ambiente.
- Viviendas.
- Subestación.

3.1.3.1. Estación de bombeo.

El sistema de bombeo en sí está conformado por cuatro grupos de bombeo en los que existen tres motores de combustión interna y un motor eléctrico los cuales conjuntamente con sus respectivas bombas hacen posible el transporte de los diferentes combustibles hacia las otras estaciones. Para el efecto la estación Santo Domingo opera las 24 horas del día, 365 días al año. Posteriormente se explicará cada una de las características técnicas de los motores y bombas ya mencionadas.



Figura 3.2. Galpón donde se encuentra el grupo de bombeo.

3.1.3.2. Departamento de operaciones.

La personal que se encuentra operando en este departamento se ocupa del control y de la puesta en marcha del grupo de bombeo. Mediante un software computacional logran variar parámetros importantes como número de revoluciones en los motores y presiones en el sistema de bombeo a través de las aperturas de los actuadores y válvulas, que a su vez estas pueden ser controladas desde operaciones ya que casi todo el proceso está automatizado pero de igual forma también pueden ser manipuladas y controladas manualmente. Este departamento está dirigido por un supervisor y los operarios de turno.



Figura 3.3. Departamento de operaciones.

3.1.3.3. Mantenimiento electromecánico.

En mantenimiento electromecánico se encuentran las máquinas herramientas para reparación de bombas, motores, válvulas, compresores etc. y a su vez se encargan de los mantenimientos de los grupos de bombeo. Este departamento lo dirige el coordinador presidido por el supervisor del área eléctrica y mecánica, y los técnicos de turno.



Figura 3.4. Ingreso al taller electromecánico.

3.1.3.4. Mantenimiento de línea.

En este departamento se realiza el mantenimiento y control de la vegetación a través del contrato del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, reparaciones de la tubería, pintura, corte y control de la maleza, etc. Vigilancia y supervisión de la integridad de la tubería a través de 14 patrullas militares contra robos y daños al poliducto por efecto de la naturaleza. [41]



Figura 3.5. Talleres y oficinas de mantenimiento en línea.

3.1.3.5. Intendencia.

En estas oficinas se desarrolla la parte administrativa de la estación de bombeo Santo Domingo.



Figura 3.6. Intendencia de la estación Santo Domingo.

3.1.3.6. Bodega.

Bodega central en la Estación Santo Domingo, de suministros y repuestos para todo el poliducto y estaciones de bombeo con 5 334 ítems que son controlados por personal de turno capacitado para el manejo de entrada y salida de dichos repuestos y otros elementos necesarios para los distintos mantenimientos a realizarse.



Figura 3.7. Bodega central de la estación.

3.1.3.7. Laboratorio de control de calidad.

Entre las áreas de importancia se encuentra un laboratorio químico que se encarga de analizar y determinar la calidad de los combustibles que se reciben desde Esmeraldas verificando que se encuentren dentro de los rangos permisibles para que así se realice el despacho a comercializadoras. Además también se hace el análisis y control de aguas de consumo humano, aguas residuales y control de la planta de agua potable.



Figura 3.8. Laboratorio de control de calidad y ambiente.

3.1.3.8. Viviendas.

En estas viviendas aparte de estar como albergue para el personal de turno también funcionan otros servicios como: el cuarto de lavandería, cocina, comedor, y gimnasio.



Figura 3.9. Gimnasio y habitaciones del personal de SIHAMA.



Figura3.10. Habitaciones del personal de turno.



Figura 3.11. Habitaciones del personal de turno, cocina y comedor.

3.1.3.9. Subestación.

Esta subestación eléctrica es alimentada de 69 kV, del SNI (Sistema Nacional Interconectado), suministrando así de energía eléctrica a toda la planta y especialmente a la estación de bombeo. Su instalación fue en el año de 1 996 cuando se hizo el montaje y puesta en operación del motor eléctrico ABB, esta energía se reduce a través de transformadores que se encuentran en la misma subestación.



Figura 3.12. Subestación de energía eléctrica de la planta.

Los datos transferidos de la subestación a través del transformador reductor (69 000/13 000) como voltaje, corriente, potencia se pueden mostrar en paneles digitales que se encuentran instalados en un cuarto que se encuentra protegido ya que están otros transformadores ahí, y de igual forma el variador de frecuencia del motor eléctrico ABB.



Figura 3.13. Panel electrónico donde se recepta los datos del transformador de 13000V.

Antes de empezar a realizar todos los estudios, análisis y cálculos respectivos, se recalca que en cuanto a mayor consumo de energía o punto más crítico de la planta es la estación de bombeo donde funcionan los grupos conformados por motor-bomba, por lo que se ha centrado más atención en esta parte de la planta, pero no se obviará el mostrar algunos datos referenciales y características técnicas de equipos y máquinas que están funcionando actualmente en la empresa porque pese a que su consumo es sumamente bajo a comparación de los grupos se los ha considerado para justificar consumos que están contenidos en los datos de la planilla mensual del consumo de energía eléctrica.

3.1.4. Registros de mantenimiento.

En los registros de mantenimiento se lleva la información y datos importantes sobre los programas de mantenimiento realizado y a realizar, cambios de accesorios, etc., los mismos que son vigilados y controlados por una persona encargada de manejar dichos registros, para que el personal técnico de mantenimiento mecánico y eléctrico se encarguen de ejecutar dichas obras en base a órdenes de trabajo.

Los mantenimientos utilizados en la planta son preventivos y correctivos no programados.

El mantenimiento preventivo en máquinas y equipos está programado teniendo como referencia instrucciones y catálogos de los fabricantes de la maquinaria, equipos y sistemas en base a una programación por número de horas para realizar los cambios de partes, reparaciones, ajustes, cambios de aceite y lubricantes, etc., una vez que han cumplido el tiempo establecido en los registros de mantenimiento, siendo así una parte muy importante para evitar fallos antes de que se produzcan y mantener todo en un correcto estado.

El mantenimiento correctivo no programado se da cuando ha sucedido alguna falla o avería imprevista, es decir que se tiene que corregir de inmediato para que la máquina o equipo continúe operando.

3.2. Motores de combustión interna.

Los motores de fabricación Alemana son de modelo MWM 440 TBD 6k, entregan una potencia nominal de 772 kW, consumen diesel para su funcionamiento. Fueron instalados en el año de 1 980 cuando la Empresa Pública PETROECUADOR aun no tomaba el nombre actual, y era CEPE.



Figura 3.14. Motor de combustión Interna que acciona la bomba multietapa P-203.

3.2.1. Datos de mantenimiento.

El mantenimiento para cada uno de los equipos de la empresa, se lleva en registros anuales y de esos se realiza una síntesis para los motores de combustión interna:

TABLA 3.3. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA. [42]

| Motor MWM 440 TBD 6k | Tiempo de operación | Overhaul | Programa 8 000 horas | Programa 2 000 horas | Programa 1 000 horas | Programa 250 horas |
|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| P201 | 30 años | 7 | 21 | 84 | 169 | 678 |
| P202 | | 7 | 22 | 88 | 176 | 706 |
| P203 | | 7 | 22 | 88 | 176 | 706 |

A continuación se detalla los trabajos que se realizan en cada uno de los mantenimientos, es así que:

El mantenimiento de 250 horas consiste principalmente en cambiar:

- Aceite al cárter.
- Filtros de aceite.
- Filtros de combustible.
- Limpieza de filtro de laminillas.

El programa de 1 000 horas entre otros trabajos contempla el cambio de aceite de: el gobernador y turbo.

En las 2 000 horas primordialmente se procede a los siguientes trabajos:

- Revisión estado acople flexident.
- Radiadores: revisión mangueras, cambio de agua y refrigerante.
- Corrección de fugas de aceite, combustible.
- Reajuste de pernos y tuercas.
- Verificación de estado de correas.
- Limpieza varilla de aceleración.
- Bomba de inyección limpieza.
- Calibración de válvulas de culatas.
- Limpieza de válvulas de arranque.
- Verificación del trabajo de los inyectores (gases de escape).

El programa de 8 000 horas el trabajo que se lo realiza es el cambio de:

- Culatas reparadas.
- Balancines reparados, taques.
- Inyectores, bomba de inyección.
- Válvulas de arranque, reparadas.
- Válvula distribuidora de aire.
- Sistema de refrigeración.
- Limpieza interna de radiadores y pintura externa.
- Bombas de agua.

- Sistema de combustible, (limpieza de cañerías desde el tanque diario al motor).
- Sistema de admisión de aire.
- Turbo cargador reparado.
- Cambio de correas bomba de agua.
- Inspección camisas y rines, cambio si es necesario.

El overhaull consiste en la reparación íntegra de todo el motor de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

3.2.1.1. Datos recopilados de los motores de combustión interna.

Datos técnicos.

Los tres motores de combustión interna corresponden a la fabricación alemana de la desaparecida fabrica MWM. Éstos corresponden a las siguientes características:

TABLA 3.4. DATOS DE PLACA DE LOS MOTORES. [43]

| Características | P201 P202 P203 |
|----------------------------------|----------------|
| Modelo | MWM 440 TBD 6k |
| Potencia nominal | 772 kW |
| Velocidad de giro nominal | 900 rpm |
| Relación de compresión φ | 13 |
| Diámetro del pistón | 230 mm |
| Carrera del pistón | 260 mm |
| Presión de compresión | 78 bar |

Análisis de gases.

Este trabajo lo realiza una empresa especializada en análisis de gases, se lo hace periódicamente para controlar los niveles de contaminación dentro de la estación; la medición correspondiente al segundo semestre del año 2 010, coincidió con la

fecha en la cual se estaba analizando el grupo de motores, por esta razón los datos del análisis los obtuvimos directamente de la empresa ABRUS.

El equipo que se utiliza es un analizador de gases modelo TESTO T350 XL y se obtiene los siguientes resultados:

TABLA 3.5. RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE GASES EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

| Motor | % CO ₂ | % O | CO (ppm) |
|-------|-------------------|-------|----------|
| P201 | 5,69 | 13,35 | 0,05036 |
| | 5,59 | 13,48 | 0,0464 |
| P202 | 6,41 | 12,39 | 0,1317 |
| | 6,72 | 11,97 | 0,1439 |
| P203 | 6,33 | 12,49 | 0,0148 |
| | 6,35 | 12,47 | 0,0148 |

Se muestran más detalles de los análisis de gases en el **Anexo [1]**.

3.3. Motores eléctricos.

La mayoría de los motores eléctricos que funcionan en la empresa están asociados tanto con sus con sus respectivas bombas hidráulicas así como con actuadores y compresores.

3.3.1. Motores eléctricos de las bombas hidráulicas.

Cada uno de los motores eléctricos cumplen una función muy importante dentro de los trabajos diarios, pero se dará más énfasis o más prioridad al análisis y diagnóstico del motor ABB ya que los consumos de éste en lo que confiere a energía son mucho más altos a comparación de los otros, y está en funcionamiento casi todo el año, aún así se te tomarán en cuenta los motores eléctricos de las otras bombas para revisar el estado en el que se encuentran.

3.3.1.1. Motor eléctrico ABB.

Es un motor de tipo Jaula de ardilla trifásica, fue instalado en el año de 1 996 para mejorar la demanda de combustible, eliminar la emisión de gases (NORMA

ISO14000), además poseen un rendimiento muy alto, y de potencias muy altas capaces de trabajar a distintas cargas y a diferente número revoluciones.



Figura 3.15. Motor eléctrico de inducción para generar movimiento rotativo a la bomba multietapa.

3.3.1.1.1. Datos de mantenimiento.

Según el registro de mantenimiento este programa se llevó a cabo en el mes de octubre es decir el siguiente se lo realizará en marzo, por lo que se debe cumplir con el programa establecido para mantener en buen estado el motor eléctrico.

TABLA 3.6. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EN EL MOTOR ELÉCTRICO.

[44]

| Motor | Tiempo de operación | Programa |
|--------------|----------------------------|--------------------|
| ABB | | 5 000 horas |
| P204 | 14 años | 13 |

El programa realizado cada 5 000 horas comprende de:

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

3.3.1.2. Datos recopilados del motor eléctrico ABB.

Datos técnicos.

A continuación los datos técnicos de este motor de inducción se muestran a continuación:

TABLA 3.7. DATOS TÉCNICOS DE PLACA DEL MOTOR ELÉCTRICO.

| | |
|-------------|---------------|
| Voltaje(v) | 2 188 - 3 300 |
| Amperaje(A) | 180 - 375 |
| f_p | 0,85 - 0,91 |
| RPM | 2 520 - 3 800 |
| P(kw) | 544 -1 865 |

*Se muestran más detalles de los datos de este motor en el **Anexo [2]**.*

Datos de corrientes.

Los datos que se obtuvo de estos motores eléctricos fueron solamente datos de corriente, ya que posee altos voltajes y no había la instrumentación necesaria para obtener dicho parámetro. Los datos se los obtuvo en las horas en que había una mejor estabilidad en cuanto a la variación de corriente. En el cuarto donde funciona el variador de frecuencia existe un panel en el que se transfiere los datos de corriente del motor eléctrico y se los puede visualizar fácilmente, y de igual forma en el departamento de operaciones, ya que existe una conexión con las computadoras y este panel, por consiguiente a base de un software computacionales se logra conseguir observar estas corrientes. Se programó realizar cuatro tomas de datos por día cada 15 minutos en los siguientes días:

TABLA 3.8. DATOS DE CORRIENTE ELÉCTRICA QUE INGRESA EN EL MOTOR DE INDUCCIÓN.

| N° de toma de datos | rpm | Lunes | | | rpm | Martes | | |
|---------------------|--------|-------|-----|-----|------|--------|-------|--------|
| | | I(A) | | | | I(A) | | |
| | | A | B | C | | A | B | C |
| 1 | 3047,6 | 269 | 240 | 228 | 3050 | 258,7 | 258,7 | 245 |
| 2 | 3050 | 258 | 238 | 223 | 3045 | 220 | 220 | 190 |
| 3 | 3050 | 267 | 235 | 220 | 3040 | 240 | 240 | 227 |
| 4 | 3048,7 | 266 | 248 | 237 | 3070 | 271 | 271 | 242,89 |



Figura 3.16. Panel en el que se encuentra el display en el que se muestran los parámetros de corriente del motor eléctrico ABB.

3.3.2. Motores eléctricos de las bombas.

Cada una de las bombas de igual forma tiene un programa de mantenimiento de acuerdo a un cierto número de horas como se indica en la siguiente tabla:

TABLA 3.9. PROGRAMA DE MANTENIMIENTOS QUE SE REALIZAN CADA 12 MESES. [45]

| Mantenimiento a realizar | Máquina | Año 2010 |
|---|--|----------|
| | | Octubre |
| <ul style="list-style-type: none"> - Cambio de rodamientos. - Prueba de aislamiento y humedad. - Barnizado de bobinas del estator. - Chequeo de lectura de corriente de trabajo. - Prueba de funcionamiento. | Motores eléctricos de bombas sumidero. | ✓ |
| <ul style="list-style-type: none"> - Cambio de rodamientos. - Prueba de aislamiento y humedad. - Barnizado de bobinas del estator. - Chequeo de lectura de corriente de trabajo. - Prueba de funcionamiento. | Motores eléctricos de bombas de traseiego. | ✓ |
| | Motores de pre lubricación aceite motor. | ✓ |
| | Motores de recirculación de agua. | ✓ |
| <ul style="list-style-type: none"> - Cambio de rodamientos. - Prueba de aislamiento y humedad. - Barnizado de bobinas del estator. - Chequeo de lectura de corriente de trabajo. - Prueba de funcionamiento. | Motores eléctricos piscina separadora. | ✓ |

TABLA 3.10. PROGRAMA DE MANTENIMIENTOS QUE SE REALIZAN CADA 3 MESES. [46]

| Mantenimiento a realizar | Máquina | Año 2010 | | | Año2011 |
|---|-------------------------------|----------|-------|---------|---------|
| | | Febrero | Junio | Octubre | Febrero |
| - Chequeo visual - Medición de corriente de arranque - Detección de ruidos o vibración - Chequeo de valores de corriente | Motores eléctricos auxiliares | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

3.3.3. Actuadores.

Los actuadores permiten detener o permitir la circulación del combustible, la estructura de un actuador eléctrico a comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos es que sólo requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, además es altamente versátil.

En la planta se cuenta con muchos actuadores, pero estos funcionan de manera no continua puesto que se los pone en operación para cuando se necesita regular el paso de flujo que es solamente por pequeños instantes de tiempo.

Aún así estos elementos electrónicos sufren daños de forma interna por su uso, por lo que tienen un programa de mantenimiento, cabe recalcar de que existen en algunas marcas y de características particulares en gran parte de estos elementos.

Anexo [3]

TABLA 3.11. PROGRAMA DE MANTENIMIENTOS QUE SE REALIZAN CADA SEIS MESES A LOS ACTUADORES. [47]

| Mantenimiento a realizar | Actuador | Año 2010 | | Año 2011 |
|--|-----------------------------------|----------|-------|----------|
| | | Febrero | Julio | Febrero |
| - Limpieza de botoneras. - Lubricación con LPS los contactos y los LIMITORQUE. | MOV | ✓ | ✓ | ✓ |
| - Prueba de funcionamiento en abierto y cerrado - Prueba de calibración. | ROTORK | ✓ | ✓ | ✓ |
| -Desmontaje de válvulas. -Desarmar cuerpo de válvulas para completar cavidad interior y estado del resto de componentes:cavitrol, asientos anillos de asientosdecamisas y empaquetaduras. - Cambio de rodamientos del motor eléctrico del actuador. - Calibración de actuador de 4 a 20 mA. | Válvulas reductoras FISHER | ✓ | ✓ | ✓ |



Figura 3.17. Actuador Limitorque, regulado de forma manual y por señales eléctricas.

3.4. Transformadores.

Como se explicó en el inicio de este capítulo existen transformadores que permiten reducir el voltaje que llega de la subestación eléctrica instalada en la planta a las siguientes relaciones de potencial: 69000/13000, 13 800/2800, 13800/480, 13800/210, 480/110. Cada uno de los transformadores está destinado para alimentar una sección específica con cierto voltaje requerido, como se observa en el siguiente diagrama unifilar:

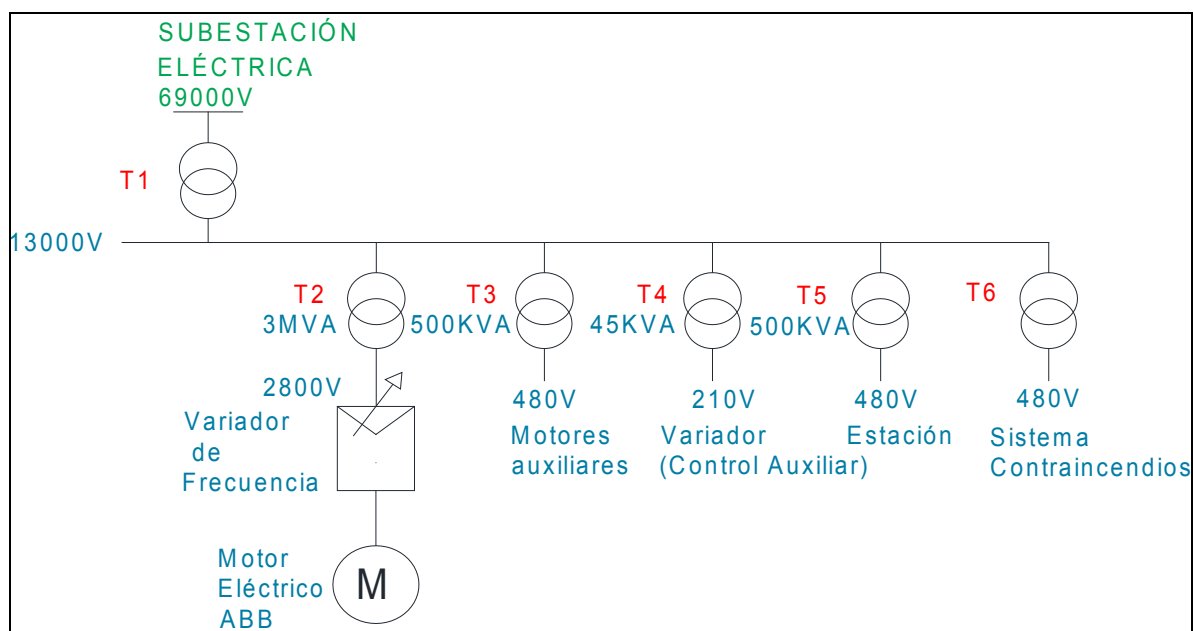


Figura 3.18. Diagrama unifilar de la distribución de los transformadores.

3.4.1. Datos de mantenimiento.

Según los programas de mantenimiento se registran los siguientes datos:

TABLA 3.12. MANTENIMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES CADA
12 MESES. [48]

| Mantenimiento a realizar | Equipo | Junio |
|--------------------------------------|-----------------|-------|
| - Limpieza | Transformadores | ✓ |
| - Barnizado y reajuste de conexiones | | |

3.4.2. Datos recopilados.

Análisis de potencias, voltajes y corrientes.

La toma de datos se los realizó con un equipo llamado analizador de calidad de energía, con este aparato se consiguió datos de voltaje, corriente, potencias real, aparente y reactiva, pero se resalta que la medición se hizo a los transformadores T3, T4, en cambio los datos de T1 se encuentran en paneles instalados en el cuarto del variador de frecuencia y para T5 en una caseta en donde esta un tablero que contiene el otro panel de datos.

Transformador (T1)



Figura 3.19. Transformador I (T1).



Figura 3.20. Modulares de control y monitoreo en el que se muestra datos de importantes de la subestación eléctrica.

TABLA 3.13. DATOS MEDIDOS DIRECTAMENTE EN EL TRANSFORMADOR I (T1).

| POTENCIAS | LÍNEAS | | | TOTAL |
|-------------------------|--------|--------|--------|---------|
| | A | B | C | |
| Potencia Activa (kW) | 380,5 | 410 | 393 | 1 183,5 |
| Potencia Aparente(kVA) | 393 | 417,3 | 420,1 | 1 230,4 |
| Potencia Reactiva(kVAR) | 76,9 | 56,1 | 91,4 | 224,4 |
| Factor de Potencia | 0,977 | 0,983 | 0,97 | 0,977 |
| V | 14 000 | 13 980 | 13 990 | |
| A | 48,2 | 47,9 | 48,1 | |

Transformador (T3)

TABLA 3.14. DATOS DE PLACA DEL TRANSFORMADOR III (T3).

| | |
|-------------------------|-----------|
| S(kVA) | 500 |
| Tensión primaria(kV) | 13,8 |
| Tensión secundaria(kV) | 480 Y/277 |
| Corriente primaria(A) | 21 |
| Corriente secundaria(A) | 601,7 |
| NºFases | 3 |
| f(HZ) | 60 |
| Marca | ABB |



Figura 3.21. Transformador de 500 kV.

TABLA 3.15. DATOS OBTENIDOS DEL TRANSFORMADOR III (T3).

| POTENCIAS | LÍNEAS | | | TOTAL |
|-------------------------|--------|-----|-----|-------|
| | A | B | C | |
| Potencia Activa (kW) | | | | 5,7 |
| Potencia Aparente(kVA) | | | | 8,9 |
| Potencia Reactiva(kVAR) | | | | 6,4 |
| Factor de Potencia | | | | 0,63 |
| V rms | 472 | 471 | 470 | |
| A rms | 10 | 11 | 12 | |

Datos obtenidos con el equipo

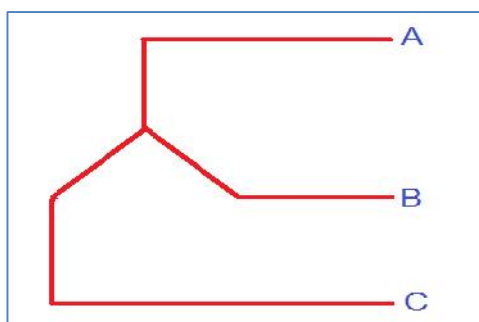


Figura 3.22. Conexión trifásica en (Y) de T3.

Transformador (T4)

Este transformador es para apoyo de energía eléctrica al variador de frecuencia los datos técnicos son los siguientes:

TABLA 3.16. DATOS DE PLACA DEL TRANSFORMADOR IV (T4).

| | |
|-------------------------|---------|
| S(kVA) | 45 |
| Tensión primaria(kV) | 13,8 |
| Tensión secundaria(kV) | 210/121 |
| Corriente primaria(A) | 1,9 |
| Corriente secundaria(A) | 124 |
| NºFases | 3 |
| f (hz) | 60 |



Figura 3.23. Obtención de datos con el analizador de calidad de energía T435.



Figura 3.24. Transformador de 45 KVA.

Datos obtenidos con el equipo.

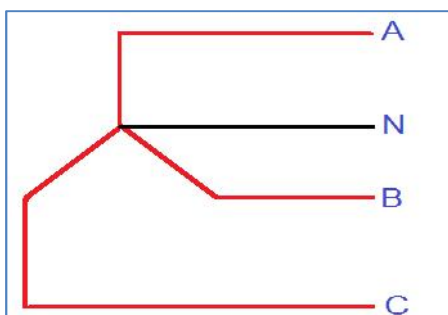


Figura 3.25 Conexión trifásica en Y de T4

TABLA 3.17. DATOS OBTENIDOS.

| POTENCIAS | LÍNEAS | | | TOTAL |
|-------------------------|--------|--------|--------|-------|
| | A | B | C | |
| Potencia Activa (kW) | 1,4 | 0,6 | 1,5 | 3,5 |
| Potencia Aparente(kVA) | 1,4 | 0,6 | 1,6 | 3,6 |
| Potencia Reactiva(kVAR) | 0,1 | 0,2 | 0,6 | 0,9 |
| Factor de Potencia | 0,97 | | 0,79 | 0,88 |
| V rms | 121,82 | 122,42 | 121,14 | |
| A rms | 12 | 2 | 12 | |

Transformador 5 (T5)

TABLA 3.18. DATOS OBTENIDOS.

| POTENCIAS | LÍNEAS | | | TOTAL |
|-------------------------|--------|-------|-------|--------|
| | AB | BC | CD | |
| Potencia Activa (kW) | 121,9 | 122,2 | 122 | 122,03 |
| Potencia Aparente(kVA) | 135,6 | 135 | 134,6 | 135,07 |
| Potencia Reactiva(kVAR) | 57,3 | 57,1 | 56,6 | 57 |
| Factor de Potencia | 0,96 | 0,87 | 0,94 | 0,923 |
| V | 478 | 481 | 479 | |
| | A | B | C | |
| A | 222 | 208 | 169 | |



Figura 3.26. Panel en el que se muestran los datos de voltaje, corriente y otros parámetros que consume la estación.



Figura 3.27. Caseta en el que se encuentra el panel.

TABLA 3.19. RESUMEN DE LA TOMA DE DATOS DE POTENCIAS ACTIVAS EN LOS TRANSFORMADORES.

| N° Transformador | Potencia (kW) PT |
|------------------|------------------|
| T ₁ | 1 183,5 |
| T ₃ | 5,7 |
| T ₄ | 3,5 |
| T ₅ | 122,03 |

3.5. Sistema de aire comprimido.

En el grupo de bombeo existe un sistema aire comprimido con el objeto de conseguir el arranque de forma neumática a los motores de combustión interna.

Este sistema está estructurado de la siguiente forma:

- 1 Compresor recíprocante.
- 2 Motor eléctrico del motor.
- 3 Válvula check.
- 4 Presóstato.
- 5 Acumulador.
- 6 Filtro, refrigeración, lubricación.
- 7 Válvula reductora de presión
- 8 Actuador.

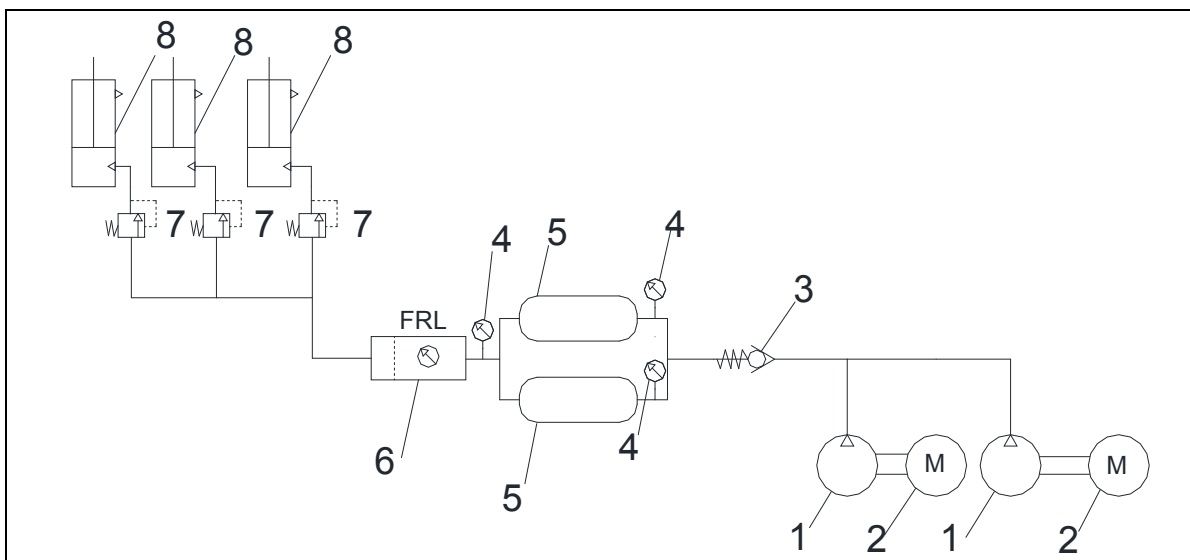


Figura 3.28. Diagrama del sistema aire comprimido.

3.5.1. Datos de mantenimiento.

Estos compresores se encuentran instalados muy cercanamente al grupo de bombeo pero en una zona donde que el aire del exterior de aspiración posee la temperatura más fría que en este caso es la temperatura ambiente.

Funcionan alrededor de 6 veces por día durante 5 minutos para seguir llenado los acumuladores cuando ya estos se han descargado cumpliendo los trabajos de accionar un actuador que provoca el arranque del motor, en consecuencia al realizar dicho trabajo se sabe que existirán fugas, desgastes en ciertos accesorios y cambios de aceite, en consecuencia para que opere mejor la maquina existe un programa registrado con los siguientes mantenimientos:

Programa de 300 horas:

- Completar el nivel del aceite.
- verificar funcionamiento válvula venteo.
- verificar estado rodamientos.
- desmontar culatas y limpieza, descarbonización de válvulas concéntricas.
- cambio de juntas y anillo de aluminio entre culatas y válvulas concéntricas.
- limpiar filtro de aire y cañerías de refrigeración. [49]

3.5.2. Recopilación de datos de los motores eléctricos de los compresores.

Datos técnicos.

TABLA 3.20. DATOS DE PLACA DEL COMPRESOR 201 Y 202.

| | |
|--|----------------|
| Marca | JP SAUR & SOHN |
| Model&Size | WP32L-100 |
| Type | Reciprocante |
| Number of stages | 2 |
| Rated Capacity at full Load Operating Pressure (m ³ /h) | 38 |
| Specific Package Input power at rated capacity and full load Operating pressure (KW) | 10,8 |
| Maximum Full Flow Operating Pressure (PSIG) | 427 |

*Ver más detalles de los datos de placa del compresor en el **Anexo [4]**.*

La conexión de estos dos compresores es en paralelo siendo así la presión que sale de cada compresor hacia el sistema de 30 bar es decir cada tanque de almacenamiento de aire se llenará a esa presión, mientras que en la entrada del pistón de alta presión ingresan 8 bar, siendo la presión atmosférica la que ingresa al compresor.

TABLA 3.21. DATOS DE PLACA DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE LOS COMPRESORES.

| | |
|--------------------------|---------|
| Marca | Siemens |
| Potencia(kW) | 10,99 |
| Voltaje (V) | 460 |
| Corriente (A) | 18,7 |
| Velocidad rotativa (RPM) | 1 740 |
| Número de Fases | 3 |
| Frecuencia (Hz) | 60 |
| Cosφ | 0,84 |

Ver más detalles de los datos de placa de los motores eléctricos de los compresores en el **Anexo [4]**.



Figura 3.29. Compresores acoplados a sus respectivos motores eléctricos.

Adquisición de datos de corriente y voltaje en los motores eléctricos de los compresores C-201, C-202.

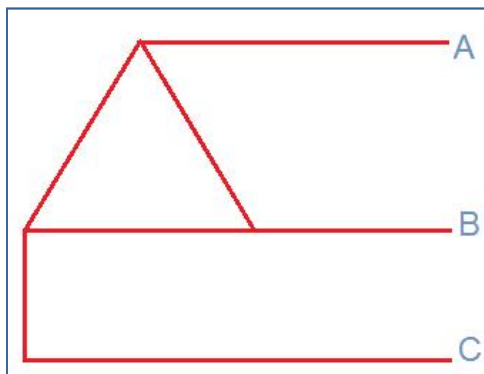


Figura 3.30. Conexión trifásica en delta de los dos motores pertenecientes a los compresores.

Compresor C-201 (Nomenclatura dada por la empresa).

TABLA 3.22. DATOS OBTENIDOS DE CORRIENTE Y VOLTAJE.

| Variables | DATOS OBTENIDOS | | |
|-----------|-----------------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Vab(V) | 490 | 489 | 490 |
| Vbc(V) | 489 | 488 | 489 |
| Vac(V) | 488 | 489 | 488 |
| Ia(A) | 13,5 | 13,4 | 13,6 |
| Ib(A) | 13,7 | 13,6 | 13,7 |
| Ic(A) | 14 | 13,8 | 13,9 |

Compresor C-202 (Nomenclatura dada por la empresa).

TABLA 3.23. DATOS OBTENIDOS DE CORRIENTE Y VOLTAJE.

| Variables | DATOS OBTENIDOS | | |
|-----------|-----------------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Vab(V) | 490 | 489 | 490 |
| Vbc(V) | 489 | 488 | 489 |
| Vac(V) | 488 | 489 | 488 |
| Ia(A) | 13,5 | 13,4 | 13,6 |
| Ib(A) | 13,7 | 13,6 | 13,7 |
| Ic(A) | 14 | 13,8 | 13,9 |

3.6. Diagnóstico de las bombas.

La mayor parte de las bombas en la planta son centrífugas y algunas de desplazamiento positivo, para el funcionamiento del grupo de bombeo las bombas multietapa centrífugas que acopladas a sus respectivos a sus motores se encargan de enviar el combustible a las otras estaciones. La bomba que funciona acoplada al motor eléctrico (P-204) (nomenclatura utilizada en la empresa para esta nombrar a esta bomba) posee diferentes características técnicas a comparación de las bombas P-201, P202, P203 de los motores de combustión interna, ya que es para mayores caudales y mayor número de revoluciones. Las otras bombas que están instaladas en la planta vienen a ser de menor tamaño y el consumo es representativamente bajo a comparación de las que trabajan enviando combustible.

3.6.1. Adquisición de datos en la bomba P-201, P-202, P-203.

Datos técnicos.

TABLA 3.24. DATOS DE PLACA DE LAS BOMBAS GUINARD P-201, P-202, P-203 QUE TRABAJAN EN CONJUNTO CON LOS MOTORES MWM. [50]

| | |
|-----------------------------------|--------|
| PumpType | DVMX |
| Size | 4x6x10 |
| \dot{V} (gpm) | 388 |
| Velocidad rotativa (RPM) | 3700 |
| Presión Diferencial(TDH) (ft/Psi) | 642,5 |
| Número de etapas | 8 |
| Diámetro en la descarga (plg) | 4 |
| Diámetro en la succión (plg) | 6 |

Más de detalles de la bombas P-201, P-202, P-203 en el Anexo [5].



Figura 3.31. Bomba centrifuga axial multietapa.

Toma de datos en las bombas P-201, P-202, P-203.

En la adquisición de datos para las bombas P-201, P-202, P-203 se consideró que los mismos debieron ser precisamente obtenidos en el tiempo mientras se realizaba el análisis de gases en cada uno de los motores de combustión interna para que todos los cálculos y resultados posteriores estén en función de aquellos valores y condiciones.

Mientras estaban en funcionamiento cada uno de los grupos de bombeo se mantuvieron en las mismas condiciones físicas como presión, número de revoluciones y caudales por lo que no había mucha exigencia para variar algún parámetro ya que se los accionaron para dicho análisis, de esta manera solamente se extrajo un dato promedio debido a que las variaciones eran mínimas entre los valores de cada uno de los parámetros ya mencionados y que se muestran en la siguiente tabla:

P-201(09H00- 10h00) Combustible en línea: diesel 2.

TABLA 3.25. DATOS OBTENIDOS DE LA BOMBA CENTRIFUGA P-201.

| P. Succión (psi) | P. Descarga (psi) | rpm | \dot{V} Pascuales (barril/h) | \dot{V} Beaterio (barril/h) | \dot{V}_T Total (barril/h) |
|---------------------|----------------------|-----|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 62 | 540 | 680 | 0 | 1 960 | 1 960 |

P-202 (15H00-16H00) Combustible en línea: gasolina extra.

TABLA 3.26. DATOS OBTENIDOS DE LA BOMBA CENTRIFUGA P-202.

| P. Succión (psi) | P. Descarga (psi) | rpm | \dot{V} Pascuales (barril/h) | \dot{V} Beaterio (barril/h) | \dot{V}_T Total (barril/h) |
|---------------------|----------------------|-----|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 72 | 553 | 750 | 570 | 1928 | 2498 |

P-203 (17H00-18H00) Combustible en línea: gasolina extra.

TABLA 3.27. DATOS OBTENIDOS DE LA BOMBA CENTRIFUGA P-203.

| P. Succión (psi) | P. Descarga (psi) | rpm | \dot{V} Pascuales (barril/h) | \dot{V} Beaterio (barril/h) | \dot{V}_T Total (barril/h) |
|---------------------|----------------------|-----|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 72 | 556 | 725 | 277 | 2 060 | 2 337 |

3.6.2. Adquisición de datos en la bomba P-204.

Datos técnicos.

TABLA 3.28. DATOS DE PLACA DE LA BOMBA CENTRIFUGA P-204.

| | |
|-----------------------------------|-------|
| PUMP TYPE | DMXH |
| Size | 4X11 |
| Capacity Norma l(gpm) | 1 247 |
| Número de etapas | 12 |
| Velocidad rotativa (RPM) | 3 300 |
| Presión Diferencial(TDH) (ft/Psi) | 1 618 |
| Diámetro en la descarga (plg) | 4 |
| Diámetro en la succión (plg) | 6 |

Más de detalles de la bomba P-204 en el **Anexo [6]**.



Figura 3.32. Bomba centrífuga axial multietapa P-204.

Toma de datos en la bomba P-204

Los datos de cada una de estas variables se pueden visualizar en las computadoras del departamento operaciones ya que ahí marcará a cada momento en un función del número de revoluciones del motor y la carga y del tipo de combustible todo lo que confiere a presiones caudales y otros detalles más, o si no de igual forma en los registros mensuales se los puede conseguir.

Combustible en línea: diesel 2.

TABLA 3.29. DATOS OBTENIDOS DE LA BOMBA CENTRIFUGA P-204.

| Hora | Presión de succión (psi) | Presión de descarga (psi) | rpm | \dot{V} Pascuales (gal/h) | \dot{V} Beaterio (gal/h) |
|-------|--------------------------|---------------------------|-------|-----------------------------|----------------------------|
| 08h00 | 65 | 1 006 | 3 150 | 0 | 1 961 |
| 09h00 | 66 | 1 024 | 2 980 | 0 | 1 889 |
| 10h00 | 66 | 1 040 | 2 980 | 0 | 2 188 |
| 11h00 | 80 | 1 054 | 3 000 | 0 | 2 082 |
| 12h00 | 78 | 1 070 | 3 070 | 0 | 2 100 |

3.6.3. Datos de mantenimiento en las bombas.

Estas bombas trabajan a presiones y caudales altos por lo que son susceptibles de averías y desgastes de los accesorios internos por lo que hay un programa de mantenimiento para mantenerlas en buen estado. La bomba que mas trabaja en el año es la que pertenece al motor eléctrico, mientras que las otras trabajan de forma dual es decir está en funcionamiento dos grupos para obtener las presiones y caudales necesarias para el envío de combustible a otras estaciones de Faisanes y Pascuales mientras se hacen revisiones o mantenimientos del motor eléctrico o de su bomba.

Programa cada 6 meses.

- Control de sellos mecánicos.
- Control de vibraciones.

- Control de estado de cañerías y corrección de fuga de fuga de producto.

Programa de 1 500 horas.

- Cambio de aceite.
- Prueba de funcionamiento. [51]

Vale acotar que para otras bombas de sistema contraincendios, bombas sumidero, de bombas de trasiego, recirculación de agua, de la piscina separadora y bombas inhibidoras corrosión de igual forma se registran los mismos programas de mantenimiento.

3.7. Iluminación.

La Iluminación de cada una de una de las áreas está en función de las actividades que se realiza en cada una ellas por lo que se las distinguirá entre secciones de requerimientos luminosos exigentes o normales y mínimos. Cabe mencionar que existen una variedad en cuanto a las lámparas que iluminarán a cada una de las secciones por lo que antes se citarán algunos conceptos para su mejor comprensión.

Las lámparas de incandescencia

Es un producto de mayor consumo ya que se utiliza esencialmente en la vivienda. Su principio está hoy perfectamente establecido: un filamento conductor (tungsteno) es calentado por una corriente eléctrica (hasta 2 700 °C aproximadamente) en una lámpara de cristal translúcido, que contiene el vacío o un gas inerte. Su coste de adquisición es bajo y poseen una desventaja como la baja eficacia luminosa (ya que el 90 % de la energía se pierde en forma de calor) y depreciación luminosa con respecto al tiempo (ver Figura 3.25 a).

Las lámparas halógenas

El principio de funcionamiento es idéntico al de las lámparas de incandescencia clásicas: al gas de la lámpara se le añade sólo una pequeña cantidad de un elemento químico. Este elemento químico aumenta tanto la duración de la lámpara (de 2 000 a 4 000 h aproximadamente) como su eficacia lumínica (de 15 a 25 lm/W)

(ver figura 3.25 b). Se utilizan en la vivienda para una iluminación complementaria o de ambiente, o para obtener una iluminación decorativa (ver Figura 3.25 b).

Las lámparas de descarga

Su funcionamiento se basa en una descarga eléctrica entre dos electrodos dentro de un tubo que se ha llenado con una mezcla de gas y de sustancias metálicas. La iluminación se produce entre 2 y 4 min en frío o 6 min en caliente. Se utilizan cuando se necesita mucha iluminación como por ejemplo: un escaparate, una tienda, un estadio, una carretera.

Existen 4 grandes familias de lámparas de descarga:

- Lámparas de vapor de mercurio a alta presión (ver Figura 3.25 c).
- Lámparas de halogenuros metálicos (ver Figura 3.25 d).
- Lámparas de vapor de sodio a alta presión (ver Figura 3.25 e).
- Lámparas de vapor de sodio a baja presión (ver Figura 3.25 f).

Lámparas fluorescentes

Los fluorescentes son alimentados por un balasto ferromagnético o electrónico. La corriente de arranque depende a la vez del tipo de balasto y del tipo de montaje empleado. Los fluorescentes se emplean normalmente para la iluminación general de locales terciarios (oficinas, escuelas, hoteles, restaurantes)

Los fluorescentes tienen una eficacia lumínica 5 veces superior a la de las lámparas de incandescencia y 2 veces superior a la de las lámparas halógenas.

Un tubo fluorescente produce entre 70 y 95 lm/W frente a los 10 o 15 lm/W de una lámpara de incandescencia. Su vida es del orden de 8 000 a 10 000 h, es decir de 10 veces superior que en el caso de una lámpara de incandescencia. Estas lámparas existen en 2 versiones:

- Lámpara de tubo.
- Lámpara fluocompacta.

La lámpara fluocompacta es un tubo replegado sobre sí mismo. Su ventaja es estética y económica, puesto que conservando todas las características del tubo, puede sustituirse por cualquier lámpara de incandescencia. Así, se puede integrar a cualquier tipo de alumbrado, con el consiguiente ahorro energético. [52]

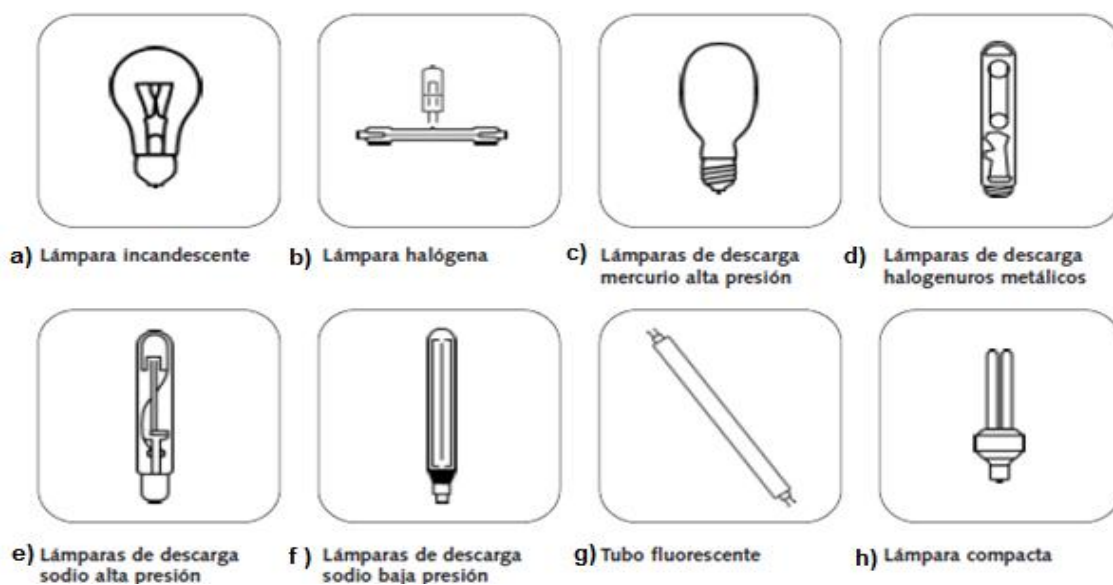


Figura 3.33. Tipos de lámparas. [52]

TABLA 3.30. TIPO DE LÁMPARA SEGÚN SU ÁMBITO DE USO. [53]

| Ámbito de uso | Tipos de lámpara más utilizado |
|---------------|--|
| Doméstico | <ul style="list-style-type: none"> • Incandescentes • Fluorescentes • Halógenas de baja potencia • Fluorescentes compactas |
| Oficinas | <ul style="list-style-type: none"> • Alumbrado General: Fluorescentes • Alumbrado localizado: Incandescentes y halógenas de baja presión. |
| Comercial | <ul style="list-style-type: none"> • Incandescentes • Halógenas • Fluorescentes • Grandes superficies • Con techos altos: mercurio a alta presión y halogenuros metálicos |
| Industrial | <ul style="list-style-type: none"> • Todos los tipos • Iluminarias situadas a baja altura(≤ 6): fluorescentes. • Iluminarias situadas a gran altura(> 6m):lámparas de descarga a alta presión montadas en proyectores • Alumbrado localizado: Incandescentes |
| Deportivo | <ul style="list-style-type: none"> • Iluminarias situadas a baja altura: Fluorescentes • Iluminarias situadas a gran altura: Lámparas de vapor de mercurio a alta presión, Halogenuros metálicos y vapor de sodio a alta presión. |

**TABLA 3.31. NIVELES DE ILUMINACIÓN MÍNIMA PARA TRABAJOS
ESPECÍFICOS Y SIMILARES. [54], [55]**

| Tareas y clases de local | Iluminancia media en servicio (lux) | | |
|---|-------------------------------------|-------------|--------|
| | Mínimo | Recomendado | Óptimo |
| Zonas generales de edificios | | | |
| Zonas de circulación, pasillos | 50 | 100 | 150 |
| Escaleras, escaleras móviles, roperos, lavabos, almacenes y archivos | 100 | 150 | 200 |
| Centros docentes | | | |
| Aulas, laboratorios | 300 | 400 | 500 |
| Bibliotecas, salas de estudio | 300 | 500 | 750 |
| Oficinas | | | |
| Oficinas normales, mecanografiado, salas de proceso de datos, salas de conferencias | 450 | 500 | 750 |
| Grandes oficinas, salas de delineación, CAD/CAM/CAE | 500 | 750 | 1 000 |
| Comercios | | | |
| Comercio tradicional | 300 | 500 | 750 |
| Grandes superficies, supermercados, salones de muestras | 500 | 750 | 1 000 |
| Industria (en general) | | | |
| Trabajos con requerimientos visuales limitados | 200 | 300 | 500 |
| Trabajos con requerimientos visuales normales | 500 | 750 | 1 000 |
| Trabajos con requerimientos visuales especiales | 1 000 | 1 500 | 2 000 |
| Viviendas | | | |
| Dormitorios | 100 | 150 | 200 |
| Cuartos de aseo | 100 | 150 | 200 |
| Cuartos de estar | 200 | 300 | 500 |
| Cocinas | 100 | 150 | 200 |
| Cuartos de trabajo o estudio | 300 | 500 | 750 |

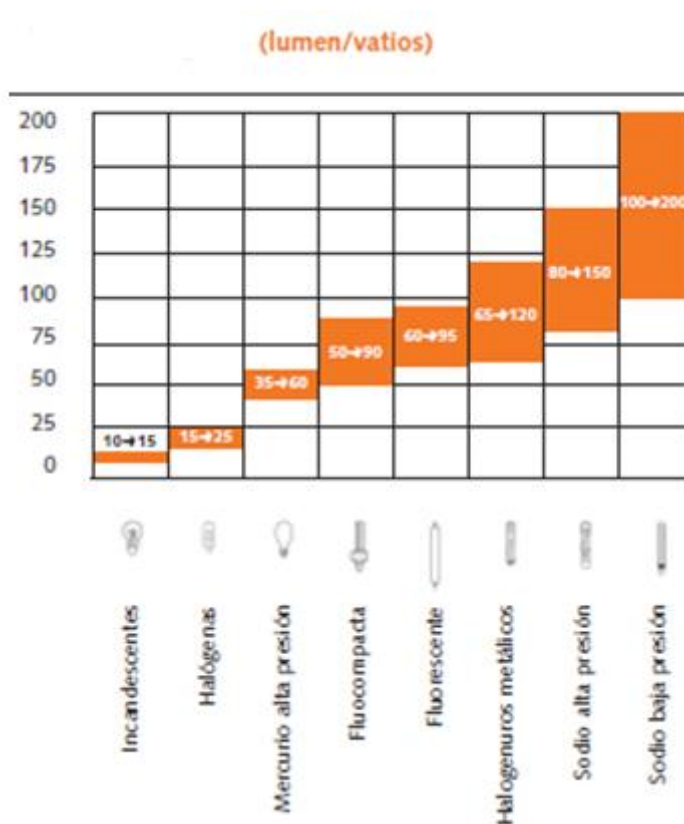


Figura 3.34. Eficiencia energética de las lámparas. [52]

Se ha puesto en manifiesto varios de los conceptos necesarios para mejor entendimiento acerca de las lámparas que se utilizan en las áreas de la empresa, de esta manera se procede a indicar en la TABLA 3.31 el número, tipo y potencia de cada una de ellas.

En cuanto al mantenimiento se realizan los cambios de lámparas cuando ya han cumplido con su vida útil es decir se las reemplaza por otras (del mismo tipo y potencia) que se encuentren en stock.

TABLA 3.32. DATOS DIRECTOS DE LAS LÁMPARAS QUE FUNCIONAN EN DISTINTAS ÁREAS DE LA PLANTA.

| área de trabajo | N° Lámparas | | | | | | | | Potencia (W) c/u |
|-----------------------------|-------------|-----------|--------------|--------------|---------------|-----------------------|-----------|-----------|------------------------|
| | Incandesc. | halógenas | Mercurio A.P | Fluocompacta | Fluorescentes | Halogenuros metálicos | Sodio A.P | sodio B.P | |
| Grupo de bombeo | | | 12 | | | | | | 400 |
| Dep. de operaciones | | | | | | | | | |
| Vivienda (bloque a) | | | | 20 | | | | | 20 |
| Vivienda(bloque b) | | | | 15 | | | | | 20 |
| Vivienda (bloque c) | | | | 20 | | | | | 20 |
| Vivienda(bloque d) | | | | 32 | | | | | 20 |
| Gimnasio | | | | | 30 | | | | 20 |
| Lavandería | | | | | 4 | | | | 20 |
| Área administrativa | | | | | 30 | | | | 20 |
| Taller mecánico y eléctrico | | | | | 40 | | | | 40 |
| Estacionamiento | | | | 3 | 12 | | | | 20 |
| Laboratorio | | | | | 30 | | | | 30 |
| Oficinas de la terminal | | | | | 63 | | | | 20 |
| Terminal (bombeo) | | | 16 | | | | | | 400 |
| Área adm. (mnto.En línea) | | | | | 8 | | | | 40 |
| Galpón (mnto.En línea) | | | 6 | | | | | | 400 |
| Bodega (mnto. En línea) | | | | | 6 | | | | 40 |
| Galpón generador | | | | | | | 30 | | 480 |
| Bodega General | | | | 20 | | | | | 40 |
| Viviendas sihama | | | | 40 | | | | | 40 |

3.8. Máquinas herramientas.

En las áreas de mantenimiento se encuentran la mayor parte de las herramientas destinadas a la utilización en cada uno de los trabajos de revisión, corrección, limpieza y reemplazo de accesorios de las máquinas y equipos instalados en la planta, inclusive actuando en la elaboración de varios elementos mecánicos, de esta manera atendiendo a los requerimientos en cuanto al bienestar y seguridad.

En el desarrollo de las actividades de trabaja con las máquinas herramientas, los períodos de tiempo de utilización de las mismas dependen de la actividad a realizar, por lo tanto en cuanto al número de horas se establecerán valores aproximados de trabajo.

TABLA 3.33. DATOS REALES DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS.

| Área | Máquina | Cantidad | Potencia(W) | N° de horas/día |
|---------------------------|--|----------|-------------|-----------------|
| Mantenimiento Mecánico | compresor | 1 | 7 450 | 8 |
| | Fresadora | 1 | 1 490 | 1 |
| | Esmeril | 2 | 745 | 4 |
| | Soldadora | 1 | 22 500 | 1 |
| | Lamda | 1 | 1 490 | 2 |
| | Torno | 1 | 3725 | 4 |
| | Taladros | 1 | 372.5 | 2 |
| Mantenimiento En línea | soldadora de taller | 1 | 22 500 | 6 |
| | Esmeril | 1 | 745 | 6 |
| | horno para tratamientos de electrodos | 1 | 4 000 | 5 |
| | Taladros | 1 | 372.5 | 5 |

3.9. Equipos de oficina y laboratorios.

TABLA 3.34. DATOS TOMADOS DE LOS EQUIPOS DE OFICINA EN CADA UNA DE LAS ÁREAS.

| Oficina | Descripción | Cantidad | Potencia (W) | N° de horas/día |
|--------------------------------|---------------|----------|--------------|-----------------|
| Operaciones | refrigeradora | 2 | 200 | 24 |
| | grabadora | 2 | 40 | 5 |
| | televisión | 2 | 141 | 24 |
| | computadoras | 7 | 100 | 24 |
| Intendencia | refrigeradora | 2 | 200 | 24 |
| | copiadoras | 2 | 800 | 8 |
| | televisión | 1 | 141 | 1 |
| | computadoras | 4 | 200 | 8 |
| | impresora | 4 | 150 | 8 |
| Mantenimiento Mecánico | refrigeradora | 1 | 290 | 24 |
| | computadoras | 2 | 100 | 8 |
| | impresoras | 1 | 150 | 8 |
| | grabadora | 1 | 40 | 8 |
| Mantenimiento Eléctrico | refrigeradora | 1 | 290 | 24 |
| | computadoras | 2 | 200 | 8 |
| | impresoras | 1 | 150 | 8 |
| | grabadora | 1 | 40 | 8 |
| Bodega | refrigeradora | 1 | 300 | 24 |

(Continuación)

| | | | | |
|-----------------------------------|----------------|----|-----|----|
| Bodega | computadoras | 2 | 200 | 8 |
| | impresoras | 2 | 150 | 8 |
| | grabadora | 1 | 40 | 8 |
| Terminal | refrigeradoras | 2 | 290 | 24 |
| | computadoras | 10 | 200 | 8 |
| | impresoras | 2 | 150 | 8 |
| | televisiones | 1 | 141 | 2 |
| Mantenimiento en línea | neveras | 1 | 200 | 24 |
| | computadoras | 3 | 200 | 8 |
| | impresoras | 1 | 150 | 8 |

TABLA 3.35. DATOS TOMADOS DE CADA UNO DE LOS EQUIPOS QUE SE UTILIZAN EN LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD Y AMBIENTE.

| Descripción | Cantidad | Potencia (W) | N° de horas/día |
|---|-----------------|-------------------------|----------------------------|
| Destilador1 ASTM Automático | 1 | 745 | 3 |
| Destilador 2ASTM | 1 | 745 | 3 |
| Destilador 3ASTM | 1 | 745 | 3 |
| Viscosímetro | 1 | 400 | 4 |
| Punto inflamación Automático PENSKY-MARTENS | 1 | 558 | 3 |
| Punto de inflamación | 1 | 250 | 4 |
| Punto de inflamación | 1 | 250 | 3 |
| Equipo para corrosión lámina cobre | 1 | 500 | 3 |
| Presión de vapor REID | 1 | 600 | 3 |
| Campana de extracción | 1 | 745 | 4 |
| Centrífuga | 1 | 745 | 2 |
| Purificador de agua | 1 | 400 | 3 |
| Compresor | 1 | 1 490 | 2 |
| Espectrofotómetro | 1 | 600 | 3 |
| Balanza | 1 | 400 | 4 |
| Campana | 2 | 600 | 4 |
| Nevera | 1 | 300 | 24 |
| Turbilímetro | 1 | 200 | 4 |

3.10. Aire acondicionado.

Debido a la situación geográfica donde está situada la estación, las temperaturas son elevadas, por lo tanto se tiene la necesidad de ocupar equipos de aire acondicionado, los mismos que están instalados en la mayor parte de las áreas de trabajo de la planta, para dar un ambiente de confort.

En cuanto al tipo de equipo de aire acondicionado todos poseen las mismas características técnicas. Se menciona que no existen registros de algún mantenimiento realizado a estos equipos, pero de haber algún daño en los accesorios internos se procederá a cambiarlos si no es muy considerable la avería caso contrario se cambia el equipo.

En la siguiente tabla se muestran los equipos de aire acondicionado instalados en la estación en función de un número promedio de horas que estos permanecen prendidos al día.

TABLA 3.36. DATOS DE PLACA TOMADOS DIRECTAMENTE EN LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO.

| | |
|---------------------------|--------|
| Capacidad Térmica (BTU/h) | 12 000 |
| Potencia (W) | 1 200 |
| Voltaje (V) | 220 |
| Corriente (A) | 5,5 |

TABLA 3.37. RECOLECCIÓN DE DATOS DIRECTAMENTE DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO.

| Áreas | Cantidad | Potencia(c/u) (W) | Nºdehoras/día |
|-------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|
| Operaciones | 4 | 1 200 | 24 |
| Intendencia | 6 | 1 200 | 8 |
| Mantenimiento mecánico | 2 | 1 200 | 8 |
| Mantenimiento eléctrico | 1 | 1 200 | 8 |
| Bodega | 1 | 1 200 | 8 |
| Mantenimiento en línea | 1 | 1 200 | 8 |
| L.C.C.M.A | 2 | 1 200 | 8 |
| Viviendas(bloque A) | 9 | 1 200 | 8 |
| Viviendas(bloque B) | 7 | 1 200 | 8 |
| Viviendas(bloque C) | 8 | 1 200 | 8 |
| Viviendas(bloque D) | 10 | 1 200 | 8 |
| Gimnasio | 2 | 1 200 | 4 |
| Viviendas(Sihama) | 8 | 1 200 | 8 |

3.11. Ventiladores.

Cada uno de estos ventiladores tiene como objetivo refrigerar el agua que ingresa a los motores de combustión interna, a su vez posee cada uno un motor eléctrico asíncrono.



Figura 3.35. Modelo de los ventiladores para cada uno de los motores MWM.

Características técnicas

TABLA 3.38. DATOS DE PLACA TOMADOS DIRECTAMENTE EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE LOS VENTILADORES.

| | |
|--------------|-------------------|
| Voltaje (V) | 460 |
| Amperios (A) | 25,5 |
| RPM | 1 170 |
| Fp | 0,82 |
| P(KW) | 14,7 |
| Serie | 180LNON3051351P5A |

3.11.1. Datos recopilados de los motores eléctricos de los ventiladores.

Mediante un multímetro se realizó la medición de voltajes y corrientes para obtener las potencias que se consumen de forma real, las mediciones se las hizo cada 30 minutos cuando estaban funcionando los motores MWM.

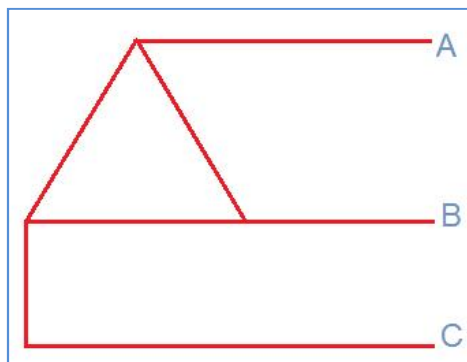


Figura 3.36. Conexión trifásica en delta de los dos motores pertenecientes a los ventiladores.

TABLA 3.39. DATOS OBTENIDOS DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL VENTILADOR I CON SUS VALORES PROMEDIO EN CADA LÍNEA.

| Variables | DATOS OBTENIDOS | | |
|-----------|-----------------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Vab(V) | 490 | 487 | 488 |
| Vbc(V) | 487 | 497 | 486 |
| Vac(V) | 488 | 486 | 487 |
| Ia(A) | 21,7 | 21,6 | 21,8 |
| Ib(A) | 21,6 | 21,4 | 21,8 |
| Ic(A) | 20,6 | 21 | 20,4 |

TABLA 3.40. DATOS OBTENIDOS DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL VENTILADOR II CON SUS VALORES PROMEDIO EN CADA LÍNEA.

| Variables | DATOS OBTENIDOS | | |
|---------------------|-----------------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 |
| V _{AB} (V) | 489 | 488 | 490 |
| V _{BC} (V) | 490 | 493 | 488,9 |
| V _{AC} (V) | 488 | 492 | 492 |
| I _{AB} (A) | 22 | 22,4 | 21,7 |
| I _{BC} (A) | 21,9 | 21,8 | 21,9 |
| I _{AC} (A) | 21,4 | 21,9 | 22,1 |

*TABLA 3.41. DATOS OBTENIDOS DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL VENTILADOR III
CON SUS VALORES PROMEDIO EN CADA LÍNEA.*

| Variables | DATOS OBTENIDOS | | |
|-------------|-----------------|-------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| $V_{AB}(V)$ | 486 | 486,8 | 487 |
| $V_{BC}(V)$ | 491 | 491 | 489 |
| $V_{AC}(V)$ | 490 | 489 | 491 |
| $I_A(A)$ | 22,3 | 22,3 | 22 |
| $I_B(A)$ | 21,8 | 22,2 | 22,2 |
| $I_C(A)$ | 22 | 22,1 | 21,8 |

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1. Rendimiento real de máquinas y equipos de la instalación.

Para proceder a calcular el rendimiento primero se debe conocer que la estación de bombeo consta de dos sistemas para realizar el trabajo, y son:

El **sistema primario** consta de: un motor eléctrico acoplado a una bomba centrífuga multietapa, éste trabaja la mayoría de tiempo.

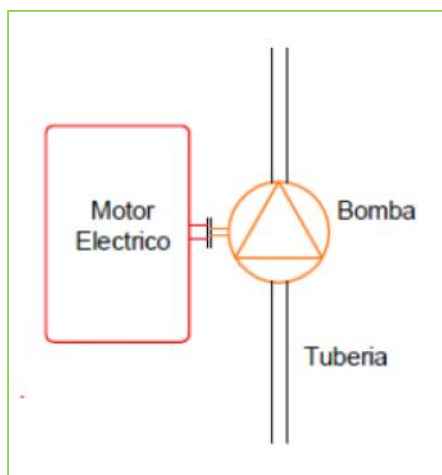


Figura 4.1. Esquema del sistema primario de bombeo.

El **sistema emergente** consta de: dos motores de combustión interna acoplados a sus respectivos multiplicadores de velocidad y éstos a su vez acoplados a sus bombas centrífugas multietapa. Dispuestos en serie, el primer conjunto sirve para elevar la presión del fluido y suministrar a la succión del segundo conjunto para que alcance la presión nominal de bombeo.

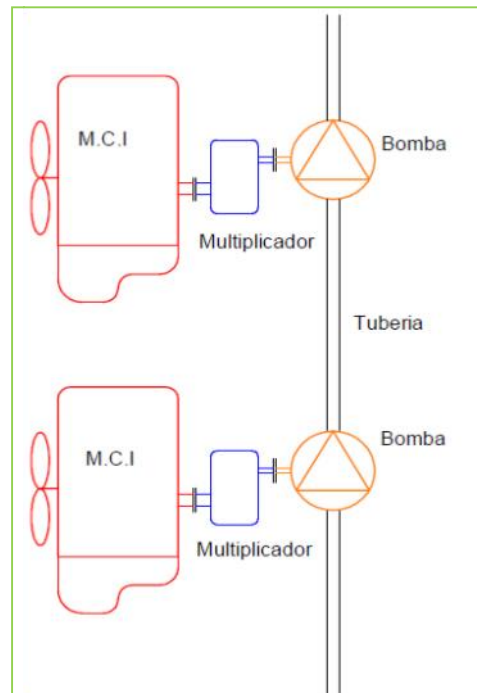


Figura 4.2. Esquema del sistema emergente de bombeo.

4.1.1. Cálculo de eficiencia de motores.

La eficiencia del motor se la encontrará con la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{N}{Q_c} \quad (2.1)$$

Para el cálculo de la potencia efectiva se procede de la siguiente forma:

El **rendimiento térmico** se lo calcula bajo el **ciclo diesel**, los datos son de la **TABLA 3.4.**

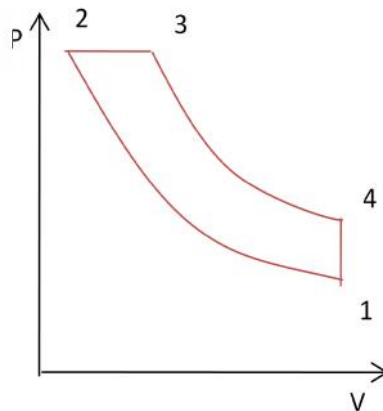


Figura 4.3. Diagrama de p vs v del ciclo diesel.

$k = 1,4$ constante del aire. [6]
 $\tau' = 1,55$ relación de combustible. [6]

Se determina el valor de la cilindrada parcial con la ecuación (2.9), con los datos conocidos anteriormente.

$$V_p = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot L \quad (2.9)$$

$$V_p = \frac{\pi}{4} (230 \text{ mm})^2 \cdot 260 \text{ mm}$$

$$V_p = 10\,802\,366,3 \text{ mm}^3 = 10\,802,366 \text{ cm}^3$$

Ahora para calcular el valor del volumen mínimo V_2 se utiliza la ecuación (2.11).

$$V_2 = \frac{\frac{\pi}{4} d^2 \cdot L}{\varphi - 1} \quad (2.11)$$

$$V_2 = \frac{\frac{\pi}{4} (230 \text{ mm})^2 \cdot 260 \text{ mm}}{13 - 1}$$

$$V_2 = 900\,197,19 \text{ mm}^3 = 900,197 \text{ cm}^3$$

De acuerdo con la ecuación (2.7) se halla el valor de V_1 .

$$\varphi = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.7)$$

$$V_1 = 13(900,197 \text{ cm}^3)$$

$$V_1 = 11\,702,563 \text{ cm}^3$$

Para obtener el volumen V_3 se despeja de la ecuación (2.10) y se reemplaza los valores conocidos.

$$\tau' = \frac{V_3}{V_2} \quad (2.10)$$

$$V_3 = 1,55(900,197 \text{ cm}^3)$$

$$V_3 = 1\,395,30 \text{ cm}^3$$

Conocidos los parámetros que son:

$$V_1 = V_4 = 11\,702,56 \text{ cm}^3$$

$$p_2 = p_3 = 78 \text{ bar}$$

$$T_4 = 359,25^\circ\text{C} = 632,25 \text{ }^\circ\text{K}$$

Ahora se procede a calcular los demás parámetros del ciclo que son:

La presión al inicio de la compresión con la ecuación (2.3):

$$p_1 V_1^k = p_2 V_2^k \quad (2.3)$$

$$p_1 = 78 \text{ bar} \left(\frac{900,197 \text{ cm}^3}{11\,702,563 \text{ cm}^3} \right)^{1,4}$$

$$p_1 = 2,15 \text{ bar}$$

La presión al final de la expansión se obtiene con la ecuación (2.5):

$$p_3 V_3^k = p_4 V_4^k \quad (2.5)$$

$$p_4 = 78 \text{ bar} \left(\frac{1\,395,305 \text{ cm}^3}{11\,702,563 \text{ cm}^3} \right)^{1,4}$$

$$p_4 = 3,97 \text{ bar}$$

La temperatura al inicio de la compresión se encuentra con la ecuación (2.6):

$$\frac{p_4}{T_4} = \frac{p_1}{T_1} \quad (2.6)$$

$$T_1 = 632,25 \text{ }^\circ\text{K} \frac{2,151 \text{ bar}}{3,972 \text{ bar}}$$

$$T_1 = 342,31 \text{ }^\circ\text{K}$$

La temperatura al final de la compresión se encuentra con la ecuación (2.6.1):

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{k-1} \quad (2.6.1)$$

$$T_2 = \frac{342,313 \text{ }^\circ\text{K}}{\left(\frac{900,197 \text{ cm}^3}{11\,702,563 \text{ cm}^3} \right)^{1,4-1}}$$

$$T_2 = 954,99 \text{ }^\circ\text{K}$$

La temperatura al final de la combustión se encuentra con la ecuación (2.4):

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \quad (2.4)$$

$$T_3 = 954,996 \text{ }^\circ\text{K} \frac{1395,305 \text{ cm}^3}{900,197 \text{ cm}^3}$$

$$T_3 = 1\,480,24 \text{ }^\circ\text{K}$$

El rendimiento del **ciclo térmico** se calculará con la ecuación (2.12) y se tiene que:

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} \quad (2.12)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{0,7186 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ K} * (632,25^\circ K - 342,313^\circ K)}{1,0062 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ K} * (1480,244^\circ K - 954,996^\circ K)}$$

$$\eta_t = 0,6057$$

El rendimiento **volumétrico, indicado y mecánico** se los calcula del protocolo de entrega que posee cada motor. Éste es un documento que posee cada uno de los motores, que registran los datos de funcionamiento cuando fueron instalados por primera vez. **Anexo [7]**.

Se calculará el rendimiento total del motor para condiciones de recién instalado, con los siguientes datos y al ecuación (2.1):

$$N = 299 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_c = 0,0181 \text{ kg/s}$$

$$n = 738 \text{ rpm}$$

Entonces:

$$\eta = \frac{N}{Q_c} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{299 \text{ kW}}{0,0181 \frac{kg}{s} * 43\,961,4 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\eta = 0,3757$$

El valor del rendimiento térmico (η_t) para este motor de acuerdo con las condiciones del protocolo de entrega es igual a 0,6062; es un valor calculado previamente con el procedimiento descrito anteriormente.

Ahora es posible hallar los rendimientos restantes, entonces:

$$\eta = \eta_t * \eta_i * \eta_v * \eta_m$$

$$\frac{0,3757}{0,6062} = \eta_i * \eta_v * \eta_m$$

$$\eta_i * \eta_v * \eta_m = 0,6197$$

Este resultado corresponde al producto entre los **rendimientos indicado, volumétrico y mecánico**; sirve para el cálculo posterior de potencia efectiva.

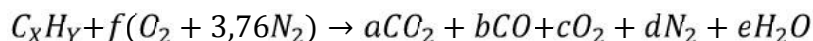
Los datos que se muestran a continuación son valores promedio de la TABLA 3.5. que corresponde al análisis de gases del motor P-201.

$$a = 5,64 \%CO_2$$

$$b = 0,04835 \%CO$$

$$c = 13,415 \%O_2$$

El proceso de la combustión obedece a:



Se procede a determinar el porcentaje de nitrógeno con la ecuación (2.14), entonces:

$$d = 100\% - (a + b + c) \quad (2.14)$$

$$d = 100 \% - (5,64 \% + 13,415 \% + 0,0483 \%)$$

$$d = 80,896 \%N$$

A continuación el porcentaje de aire:

$$f = \frac{d}{3,76}$$

$$f = \frac{80,896 \%}{3,76}$$

$$f = 21,515 \% \text{ aire.}$$

Ahora se nivela la ecuación de la combustión, es decir hallar los valores de X, e y Y:

El porcentaje de carbono: $X = a + b$

$$X = 5,64 \% + 0,0483 \%$$

$$X = 5,688 \%$$

El porcentaje de vapor de agua: $e = 2f - (2a + b + 2c)$

$$e = 2 * 21,515 \% - (2 * 5,64 \% + 0,0483 \% + 2 * 13,415 \%)$$

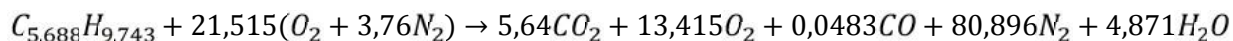
$$e = 4,871 \%$$

El porcentaje de hidrogeno: $Y = 2e$

$$Y = 2 * 4,871 \%$$

$$Y = 9,743 \%$$

La ecuación de la combustión completa es la siguiente:



Ésta sirve para determinar la masa de combustible con la ecuación (2.15) y masa aire con la ecuación (2.16), entonces:

C = 12 g/mol.

H = 1 g/mol.

Aire = 29 g/mol.

$$m_c = PM_C * X + PM_H * Y \quad (2.15)$$

$$m_c = 12 \frac{g}{mol} * 5,688 \% + 1 \frac{g}{mol} * 9,743 \%$$

$$m_c = 78 \text{ g}$$

$$m_a = PM_{aire} * (f + (f * 3,76)) \quad (2.16)$$

$$m_a = 29 \frac{g}{mol} * (21,515 \% + (21,515 \% * 3,76))$$

$$m_a = 2\,969,93 \text{ g}$$

Se determinará la relación aire – combustible con la ecuación (2.17):

$$r_{a/c} = \frac{m_a}{m_c} \quad (2.17)$$

$$r_{a/c} = \frac{2\,969,938\text{ g}}{78\text{ g}}$$

$$r_{a/c} = 38,07$$

Para determinar la densidad se partirá de la ecuación de la combustión, primeramente se halla la sumatoria de los porcentajes de los gases, es así que:

$$\Sigma \text{Gases} = (5,64 \% + 13,415 \% + 0,0483 \% + 80,896 \% + 4,871 \%)$$

$$\Sigma \text{Gases} = 104,871 \%$$

Conocido el valor de R de cada uno de los gases:

$$O_2 = 59,9\text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

$$CO_2 = 188,96\text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

$$CO = 296,92\text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

$$N_2 = 296,86\text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

$$H_2O = 461,61\text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

Ahora se determinará la R de la mezcla de gases con la ecuación (2.19):

$$R = \Sigma x_i R_i \quad (2.19)$$

$$R = \left(\frac{5,64 \%}{104,871 \%} * 188,96 + \frac{13,415 \%}{104,871 \%} * 259,9 + \frac{0,0483 \%}{104,871 \%} * 296,92 + \frac{80,896 \%}{104,871 \%} * 296,86 + \frac{4,871 \%}{104,871 \%} * 461,61 \right)$$

$$R = 293,98\text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

Se reemplaza en la ecuación (2.18) todos los datos, para hallar la densidad y se tiene que:

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (2.18)$$

$$\rho = \frac{397\,226,5 \frac{N}{m^2}}{293,98 \frac{J}{kg \cdot ^\circ K} \cdot 632,25 \text{ } ^\circ K} = 2,13 \frac{kg}{m^3}$$

Para determinar el **potencial térmico** se reemplazará la relación aire – combustible, la densidad y el poder calorífico inferior del combustible, en la ecuación (2.13) y así:

$$P = \frac{\Delta H_i}{r_{a/c}} \rho \quad (2.13)$$

$$P = \frac{43\,961,4 \frac{kJ}{kg}}{38,07} \cdot 2,13 \frac{kg}{m^3}$$

$$P = 2\,467,57 \text{ kJ/m}^3$$

Se calcular **la cilindrada** aplicando la ecuación (2.20), entonces:

$$V = V_p * i \quad (2.20)$$

$$V = 10\,802,366 \text{ cm}^3 * 6$$

$$V = 64\,814,19 \text{ cm}^3$$

Para obtener el valor de la potencia efectiva se reemplazará en la ecuación (2.2) los valores de: tiempo operativo, rendimientos, potencial térmico, cilindrada y rpm.

$$N = \frac{2}{z} * \eta_t * \eta_v * \eta_i * \eta_m * P * V * \frac{n}{60} \quad (2.2)$$

$$N = \frac{2}{4} * 0,60 * 0,6197 * 2\,467,423 \frac{kJ}{m^3} * \frac{64\,814,196 \text{ cm}^3 m^3}{1\,000\,000 \text{ cm}^3} * \frac{680 \text{ rpm}}{60}$$

$$N = 340,18 \text{ kW}$$

Para determinar el **calor aportado por el combustible** se realizará de la siguiente forma:

Consiste en visualizar el nivel de combustible en el indicador que posee el tanque, de este modo se calcula el volumen, y al instante que se encendió el grupo de motores, simultáneamente se cronometró, de esta forma se determina el caudal. Es un método práctico, debido a que no se cuenta con los recursos necesarios para adquirir un flujómetro.

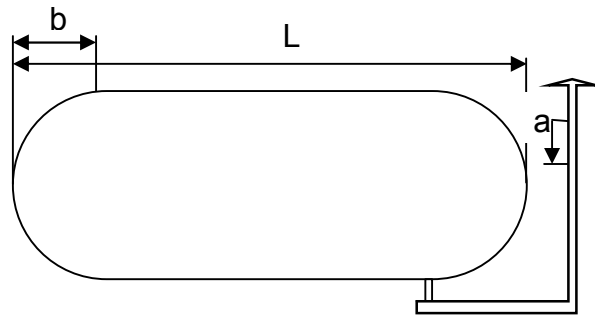


Figura 4.4. Representación gráfica del depósito de combustible utilizado para el consumo de los motores de combustión interna.

Los datos tomados del tanque son:

| | | |
|---|--------|-------------------|
| P | 6,71 m | perímetro |
| L | 7,29 m | longitud |
| b | 0,32 m | altura de la base |

Para determinar el radio del tanque se parte del perímetro, entonces:

$$P = 2\pi r$$

$$r = \frac{P}{2\pi} = \frac{6,71 \text{ m}}{2\pi}$$

$$r = 1,06 \text{ m}$$

Este radio sirve para dibujar el tanque en el software. Y sirve para calcular el volumen que consumió, mediante el **Autocad** software que permite obtener volúmenes directamente a través del dibujo.

TABLA 4.1. RESULTADOS DE VARIOS PARÁMETROS NECESARIOS PARA HALLAR EL CAUDAL DE COMBUSTIBLE.

| a (m) | V (m3) | T (h) | \dot{V} (m3/h) |
|-------|--------|-------|------------------|
| 0,052 | 0,3685 | 3 | 0,1228 |

El caudal sirve para obtener el valor del flujo de combustible conjuntamente con la densidad, y la ecuación (2.22), así que:

$$\dot{m}_c = \dot{V} * \rho \quad (2.22)$$

$$\dot{m}_c = 0,1228 \frac{m^3}{h} * 843,94 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_c = 103,635 \text{ kg/h} = 0,0287 \text{ kg/s}$$

Se determina el valor del calor entregado por el combustible con la ecuación (2.21), reemplazando los valores de: flujo de combustible y poder calorífico.

$$Q_c = \dot{m}_c \Delta H_i \quad (2.21)$$

$$Q_c = 0,0287 \frac{kg}{s} * 43\,961,4 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_c = 1\,265,54 \text{ kW}$$

Recordando que la ecuación (2.1) corresponde a la eficiencia del motor, y se cuenta con: la potencia efectiva y el calor suministrado por el combustible, entonces:

$$\eta = \frac{N}{Q_c} \quad (2.1)$$

$$\eta = \frac{340,18 \text{ kW}}{1\,265,54 \text{ kW}}$$

$$\eta = 0,2688 * 100\%$$

$$\eta = 26,88\%$$

Para el resto de motores el cálculo es el mismo por esta razón se realizará la presentación de una tabla de resumen.

TABLA 4.2. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE CADA MOTOR.

| Motor | η_t | $n_v * n_i * n_m$ | rpm | N (kW) | Q_c (kW) | η (%) |
|-------|----------|-------------------|-----|--------|------------|------------|
| P201 | 0,6057 | 0,6197 | 680 | 340,18 | 1 265,54 | 26,88 |
| P202 | 0,6023 | | 750 | 434,76 | 1 432,48 | 30,35 |
| P203 | 0,6063 | | 725 | 407,86 | 1 329,43 | 30,67 |

4.1.2. Multiplicadores de velocidad.

La eficiencia del multiplicador se la determina con la ecuación (2.23):

$$\eta = \frac{N_s}{N_e} \quad (2.23)$$

Estos equipos son **Citroen Messiah**, corresponde a las siguientes características:

TABLA 4.3. DATOS CARACTERÍSTICOS DEL MULTIPLICADOR.

| Z | Número de dientes | Piñón | rueda |
|-------------------|-------------------|---------------|--------|
| | | 160 | 36 |
| n (rpm) | Velocidad de giro | 900 | 4011 |
| D (cm) | Diámetro exterior | 65,089 | 14,605 |
| d (cm) | Diámetro del eje | 20,32 | 10,16 |
| B (cm) | Ancho de diente | 10 | |
| h (cm) | Altura de diente | 0,8 | |
| α_t | Ángulo de presión | 20° | |
| β | Ángulo de hélice | 30° | |
| Aceite lubricante | | Mobilgear 600 | |

Los multiplicadores de velocidad se encuentran a continuación de los motores de combustión, por esta razón se tiene que la potencia de salida del motor (N), es la potencia de entrada al multiplicador de velocidad (Ne).

$$N_e = 340,18 \text{ kW}$$

$$n = 680 \text{ rpm}$$

Se determinarán los radios de las ruedas dentadas entonces:

$$R_{p1} = \frac{65,089 \text{ cm}}{2} = 32,54 \text{ cm}$$

$$R_{r1} = \frac{14,605 \text{ cm}}{2} = 7,30 \text{ cm}$$

$$R_{p2} = \frac{65,089 \text{ cm} - 2 * 0,8 \text{ cm}}{2} = 31,74 \text{ cm}$$

$$R_{r2} = \frac{14,605 \text{ cm} - 2 * 0,8 \text{ cm}}{2} = 6,50 \text{ cm}$$

$$r_p = \frac{65,089 \text{ cm} - 0,8 \text{ cm}}{2} = 32,14 \text{ cm}$$

$$p = \frac{P}{Z} * 2$$

$$p = \frac{2\pi * 32,14 \text{ cm}}{160} * 2 = 2,52 \text{ cm}$$

Para calcular el valor del coeficiente de recubrimiento se utiliza la ecuación (2.27), entonces:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{R_{p1}^2 - R_{p2}^2 - R_{p2} * tg \alpha_t} + \sqrt{R_{r1}^2 - R_{r2}^2 - R_{r2} * tg \alpha_t} + B * tg \beta}{p} \quad (2.27)$$

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{(32,544 \text{ cm})^2 - (31,744 \text{ cm})^2} - 31,744 \text{ cm} * tg 20 + \sqrt{(7,302 \text{ cm})^2 - (6,502 \text{ cm})^2} - 6,502 \text{ cm} * tg 20 + 10 \text{ cm} * tg 30}{2,52 \text{ cm}}$$

$$\varepsilon = 0,93$$

Con la ecuación (2.26) se calcula las pérdidas por engranaje:

$$P_{eng.} = \frac{\pi \varepsilon f}{2} \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) N \quad (2.26)$$

$$P_{eng.} = \frac{\pi * 0,93 * 0,01}{2} \left(\frac{1}{160} + \frac{1}{36} \right) 340,18 \text{ kW}$$

$$P_{eng} = 0,169 \text{ kW}$$

Se calculará la velocidad tangencial con la ecuación (2.29) entonces:

$$V = \frac{2\pi n}{60} \cdot r \quad (2.29)$$

$$V = 680 \text{ rpm} \cdot \frac{65,089 \text{ cm}}{2} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$V = 23,17 \text{ m/s}$$

La viscosidad cinemática del aceite es una propiedad dada por el fabricante, es igual a 68 cSt que corresponde al aceite mobilgear 600.

Se calcula el valor de la potencia de pérdida por agitación con la ecuación (2.28), entonces:

$$P_{ag.} = 0,00021 V \cdot B \cdot \sqrt{\mu \cdot V \frac{200}{z_1 + z_2}} \quad (2.28)$$

$$P_{ag.} = 0,00021 * 23,175 \frac{m}{s} \cdot \frac{10 cm}{100 cm} \left| 68 cSt. 23,175 \frac{m}{s} \frac{200}{160 + 36} \right.$$

$$P_{ag} = 0,0195 \text{ kW}$$

Se calcula la carga que actúa entre el eje y el cojinete con la ecuación (2.33) entonces:

$$F = \frac{N}{\omega \cdot r} \quad (2.33)$$

$$F = \frac{340,18 \text{ kW}}{680 \text{ rpm} \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{65,089 \text{ cm}}{2 \cdot 100 \text{ cm}}}$$

$$F = 14,678 \text{ kN} = 1\,497,84 \text{ kgf}$$

Se calculará la potencia de pérdida por rozamiento en los cojinetes con la ecuación (2.30), reemplazando el valor de la fuerza como la carga aplicada: el cálculo se realiza para los dos ejes que son: el eje del piñón y el eje de la rueda. Se tiene:

$$P_{coj.} = 7 \times 10^{-6} Q \cdot f_c \cdot d \cdot n \quad (2.30)$$

$$P_{coj.} = 7 \times 10^{-6} * 1\,497,84 \text{ kgf} * 0,008 * 20,32 \text{ cm} * 680 \text{ rpm}$$

$$P_{coj1} = 1,15 \text{ kW}$$

$$P_{coj.} = 7 \times 10^{-6} Q \cdot f_c \cdot d \cdot n \quad (2.30)$$

$$P_{coj.} = 7 \times 10^{-6} * 1\,497,84 \text{ kgf} * 0,008 * 10,16 \text{ cm} * 3\,026 \text{ rpm}$$

$$P_{coj2} = 2,57 \text{ kW}$$

La pérdida por rozamiento en el cojinete es la suma de $P_{coj1} + P_{coj2}$ y es igual a:

$$P_{coj} = 1,159 \text{ kW} + 2,578 \text{ kW} = 3,73 \text{ kW}$$

Se determinará el valor total de las pérdidas con la ecuación (2.25), se tiene que:

$$P_T = P_{eng.} + P_{ag.} + P_{coj.} \quad (2.25)$$

$$P_T = 0,169 \text{ kW} + 0,0195 \text{ kW} + 3,737 \text{ kW}$$

$$P_T = 3,925 \text{ kW}$$

Para determinar la potencia de entrada se sumará la potencia efectiva y la potencia total de pérdidas como indica la ecuación (2.24), entonces:

$$N_e = N_s + P_T \quad (2.24)$$

$$N_s = 340,18 \text{ kW} - 3,925 \text{ kW}$$

$$N_s = 336,25 \text{ kW}$$

Recordando que la ecuación para determinar la eficiencia es la (2.23), se reemplazará el valor de la potencia efectiva y la potencia de entrada, entonces se tiene que:

$$\eta = \frac{N_s}{N_e} \quad (2.23)$$

$$\eta = \frac{336,25 \text{ kW}}{340,18 \text{ kW}}$$

$$\eta = 0,9885 \times 100\%$$

$$\eta = 98,85\%$$

Ahora se muestra un resumen de los rendimientos de todos los multiplicadores de velocidad del resto de motores:

TABLA 4.4. RESULTADOS DE POTENCIAS Y RENDIMIENTOS EN LOS MULTIPLICADORES.

| Multiplicador | N kW | n Rpm | P _{eng.} | P _{ag.} | P _{coj.} | N _s kW | η % |
|---------------|---------|----------|-------------------|------------------|-------------------|----------------------|--------|
| | | | kW | | | | |
| Grupo P201 | 340,18 | 680 | 0,169 | 0,0195 | 3,737 | 336,25 | 98,85 |
| Grupo P202 | 434,76 | 750 | 0,216 | 0,0226 | 4,777 | 429,74 | 98,85 |
| Grupo P203 | 407,86 | 725 | 0,202 | 0,0214 | 4,481 | 403,15 | 98,85 |

1.1.1. Rendimiento de las bombas que están acopladas a los motores de combustión interna.

Para determinar el rendimiento de cada una de las bombas multietapa: P-201, P-202, P203, se debe adjuntar todos los datos mencionados en las TABLAS 3.24 y 3.25 para los cálculos posteriores.

Se realiza la transformación de unidades para cada uno de los estos datos que se muestran a continuación:

$$\dot{V}_T = 1960 \text{ barril/h} = 0,087 \frac{m^3}{s} \text{ (TABLA 3.25)}$$

$$p_{succión} = p_{eb} = 62 \text{ psi} = 427\,474,93 \frac{N}{m^2} \text{ (TABLA 3.25)}$$

$$p_{descarga} = p_{db} = 540 \text{ psi} = 3\,723\,168,78 \frac{N}{m^2} \text{ (TABLA 3.25)}$$

$$d_{succión} = 6 \text{ plg} = 0,1524 \text{ m (TABLA 3.24)}$$

$$d_{descarga} = 4 \text{ plg} = 0,1016 \text{ m (TABLA 3.24)}$$

$$Z_2 = Z_1 = 0 \text{ ya que están al mismo nivel.}$$

Bomba P-201 (Hora: 09:00 -10:00)

Para el cálculo de las áreas de las secciones transversales se menciona que todos los resultados de estas áreas son las mismas para todas las bombas ya que poseen los diámetros similares en la succión y descarga.

De la ecuación (2.43) se obtiene el área de la sección transversal en la tubería de succión.

$$A_s = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} \tag{2.43}$$

$$A_s = \frac{\pi * (0,1524m)^2}{4}$$

$$A_s = 0,0182m^2$$

De la ecuación (2.44) se obtiene el área de la sección transversal en la tubería de descarga.

$$A_d = \frac{\pi d_a^2}{4} \quad (2.44)$$

$$A_d = \frac{\pi \cdot (0,1016m)^2}{4}$$

$$A_d = 0,00811m^2$$

De la ecuación (2.41) se calculará la velocidad de flujo de combustible en la tubería de succión de la bomba.

$$\bar{V}_{bs} = \frac{\dot{V}_T}{A_s} \quad (2.41)$$

$$\bar{V}_{bs} = \frac{0,087 \frac{m^3}{s}}{0,0182 m^2}$$

$$\bar{V}_{bs} = 4,78 m/s$$

De la ecuación (2.42) se calculará la velocidad de flujo de combustible en la tubería de descarga de la bomba.

$$\bar{V}_{bd} = \frac{\dot{V}_T}{A_d} \quad (2.42)$$

$$\bar{V}_{bd} = \frac{0,087 \frac{m^3}{s}}{0,00811m^2}$$

$$\bar{V}_{bd} = 10,72 m/s$$

La altura manométrica se calcula con la ecuación (2.48) que se muestra a continuación:

$$Hm = \frac{p_{db} - p_{eb}}{\rho * g} + \frac{\bar{V}_{bd}^2 - \bar{V}_{bs}^2}{2 * g} + (Z_2 - Z_1) \quad (2.48)$$

$$Hm = \frac{3723168,78 \frac{N}{m^2} - 427474,934 \frac{N}{m^2}}{843,94 \frac{Kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2}} + \frac{(10,727 m/s)^2 - (4,78 m/s)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$Hm = 403,18 m$$

Para la potencia de salida P_{sb} se utiliza la ecuación (2.46):

$$P_{sb} = \dot{V} * Hm * \rho * g \quad (2.46)$$

$$P_{sb} = 0,087 \frac{m^3}{s} * 403,188 m * 843,94 \frac{Kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$P_{sb} = 290,11 kW$$

Con la ecuación (2.45) se establecerá los rendimientos para cada una de las bombas y los datos de la TABLA (4.4).

$$\eta = \frac{P_{sb}}{P_{eb}} \quad (2.45)$$

Donde:

$$N_s = P_{eb} = 336,25 kW$$

La ecuación para calcular el rendimiento de la bomba queda expresada de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{290,11 kW}{336,25 kW} * 100\%$$

$$\eta = 86,27 \%$$

Para las demás bombas se realiza el mismo procedimiento de cálculo como en el primer caso para la bomba P-201.

TABLA 4.5. RESULTADOS DE LOS RENDIMIENTOS DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS ACOPLADAS A LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

| Bomba | Potencia de entrada P_{eb} (kW) | Potencia de salida P_{sb} (kW) | Rendimiento η (%) |
|-------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| P-201 | 336,25 | 290,111 | 86,27 |
| P-202 | 429,74 | 372,02 | 86,57 |
| P-203 | 403,156 | 356,58 | 88,44 |

1.1.2. Rendimiento del motor eléctrico ABB.

Para obtener el rendimiento del motor eléctrico se optó por la siguiente alternativa que se mostrará a continuación, de tal forma que los valores que se consigan con respecto a la potencia salgan lo más aproximado posible y por consiguiente se logre obtener el mismo efecto en la eficiencia.

Como se explicó en el capítulo III existe una subestación eléctrica la cual entrega la potencia a la planta y esta a su vez se distribuye en cada uno de los transformadores, entonces el objetivo es encontrar el valor de potencia que ingresa tanto al variador como al motor (cabe recordar que se encuentran en serie por eso se los menciona a los dos) es decir la potencia que emite el transformador N°2 (T_2), por lo que para hallar este dato es necesario realizar la diferencia entre la potencia de la subestación y de los demás transformadores.

Datos:

Potencia de la subestación= Potencia T_1

Los datos de potencias activas de los transformadores se los ha tomado de la TABLA 3.19.

$PT_1 = 1\ 183,5$ kW (TABLA 3.19).

$PT_3 = 5,7$ kW (TABLA 3.19).

$PT_4 = 3,5$ kW (TABLA 3.19).

$PT_5 = 122,03 \text{ kW}$ (TABLA 3.19).

Por lo tanto la potencia del transformador II (PT_2) será:

$PT = \text{Potencia del transformador}$

$$PT_2 = PT_1 - PT_3 - PT_5 - PT_4$$

$$PT_2 = (1183,5 - 5,7 - 122,03 - 3,5) \text{ kW}$$

$$PT_2 = 1\,052,27 \text{ kW}$$

Se ha logrado hallar el valor de la potencia PT_2 , pero aún no se ha obtenido la potencia que ingresa al motor ya que está el variador de frecuencia también está formando parte de este consumo, por lo tanto se necesita hallar la potencia de salida del variador de frecuencia implicando ser la potencia de entrada del motor.

Para el variador de frecuencia se ha considerado el valor de pérdidas de un 3 % ya que son equipos de alta eficiencia y de tensión media. [37]

Por lo tanto:

$$\eta_{VF} = 97 \%$$

De la ecuación (2.51) se determina la potencia de salida del variador de frecuencia.

$$\eta_{VF} = \frac{P_{S_{VF}}}{P_{e_{VF}}} * 100\% \quad (2.51)$$

La potencia de entrada en el variador de frecuencia es igual a la potencia de salida del transformador II:

$$P_{e_{VF}} = PT_2$$

En consecuencia la potencia de salida del variador será:

$$P_{S_{VF}} = \frac{\eta_V * P_{e_{VF}}}{100\%}$$

$$P_{S_{VF}} = \frac{97\% * 1\,052,27 \text{ kW}}{100\%}$$

$$P_{S_{VF}} = 1\,020,70 \text{ kW}$$

La potencia de salida del variador de frecuencia es la potencia de entrada del motor eléctrico ABB.

$$P_{S_{VF}} = P_{e_M}$$

Se extraerán los datos de las TABLAS 3.7 y 3.8 para estas condiciones:

Número de revoluciones = 3 070 RPM (TABLA 3.8)

$I = 266,3 \text{ A}$ (corriente promedio en el horario que se hizo la medición en cada uno de los transformadores). (TABLA 3.8)

En vista de que no se tiene un factor de potencia directo para el valor de potencia de entrada P_{e_M} se procede a interpolar para hallar este parámetro, ya que estas dos variables están en relación directa, utilizando los datos de placa, cabe resaltar que entre los datos de placa no existen valores fijos para la elección directa es decir hay un rango de valores por lo que es necesario aplicar este método.

De la TABLA 3.7 datos de placa se tiene:

$fp = \text{Factor de potencia}$

$$fp_1 = 0,85$$

$$fp_2 = 0,91$$

$$P_{S_1} = 544 \text{ kW}$$

$$P_{S_2} = 1\,865 \text{ kW}$$

$$V_{P_1} = 2\,188 \text{ V}$$

$$V_{P_2} = 3\,300 \text{ V}$$

$$I_{P_1} = 180 \text{ A}$$

$$I_{P_2} = 375 \text{ A}$$

Paso I: Se halla las potencias de entrada tanto en el punto inicial como final de los datos de placa.

Luego se calcula la potencia en el punto 1 Pe_{M1} con respecto al dato de placa, con la ecuación (2.34).

$$Pe_{M1} = \sqrt{3} * V_{P1} * I_{P1} * \cos \varphi \quad (2.34)$$

$$Pe_{M1} = \sqrt{3} * 2\,188V * 180A * 0,85$$

$$Pe_{M1} = 579,83\,kW$$

Luego se calcula la potencia en el punto 2 Pe_{M2} con respecto al dato de placa, con la ecuación (2.34).

$$Pe_{M2} = \sqrt{3} * V_{P2} * I_{P2} * \cos \varphi \quad (2.34)$$

$$Pe_{M2} = \sqrt{3} * 3\,300V * 375A * 0,91$$

$$Pe_{M2} = 1\,950,51\,kW$$

En la siguiente tabla se mostrarán los datos iniciales, finales e intermedios a los cuales se desea realizar la interpolación.

TABLA 4.6. VALORES INICIALES, INTERMEDIOS Y FINALES DE CADA UNO DE LOS PARÁMETROS INDICADOS.

| Variables | Punto | | |
|-------------------------------|--------|-----------------------|----------|
| | 1 | M | 2 |
| Potencia de entrada Pe (kW) | 579,83 | 1 020,70 | 1 950,51 |
| Voltaje (v) | 2 188 | <i>V</i> | 3 300 |
| Amperaje (A) | 180 | 266,29 | 375 |
| Fp | 0,85 | <i>fp</i> | 0,91 |
| Rpm | 2 520 | 3 070 | 3 800 |
| Potencia de salida Ps (kW) | 544 | <i>Ps_M</i> | 1 865 |

Los valores señalados con color rojo en la tabla anterior son las incógnitas o valores a determinar.

Paso II:

Interpolando los datos de la tabla anterior se halla el factor de potencia ($fp = \cos \varphi$) para esta potencia $Pe_M = 1\,020,70\text{ kW}$ de la siguiente manera:

$$\frac{Pe_M - Pe_{M1}}{Pe_2 - Pe_{M1}} = \frac{fp - fp_1}{fp_2 - fp_1}$$

$$fp_M = \frac{(Pe_M - Pe_{M1})(fp_2 - fp_1)}{Pe_{M2} - Pe_{M1}} + fp_1$$

$$fp_M = \frac{(1\,020,70 - 579,83)\text{kW}(0,91 - 0,85)}{(1\,950,51 - 579,83)\text{kW}} + 0,85$$

$$fp_M = 0,869$$

Paso III:

Luego se realiza una segunda interpolación para hallar el valor de la potencia de salida en el motor.

$$\frac{Pe_M - Pe_1}{Pe_2 - Pe_1} = \frac{Ps - Ps_1}{Ps_2 - Ps_1}$$

$$Ps_M = \frac{(Pe_M - Pe_1)(Ps_2 - Ps_1)}{Pe_2 - Pe_1} + Ps_1$$

$$Ps_M = \frac{(1\,020,70 - 579,83)\text{kW}(1\,865 - 544)\text{kW}}{(1\,950,51 - 579,83)\text{kW}} + 544\text{ kW}$$

$$Ps_M = 968,89\text{ kW}$$

De la ecuación (2.37) se obtiene el rendimiento del motor eléctrico

$$\eta = \frac{Ps_M}{Pe_M} \quad (2.37)$$

$$\eta_M = \frac{968,89 \text{ kW}}{1\,020,7 \text{ kW}} * 100\%$$

$$\eta_M = 95\%$$

De la ecuación (2.34) se despeja el voltaje para hallar su valor con respecto a la potencia $P_{eM} = 1\,020,70 \text{ kW} = 1\,020\,700 \text{ W}$.

$$P_{eM} = \sqrt{3} * V * I * \cos \varphi \quad (2.34)$$

$$V = \frac{P_{eM}}{\sqrt{3} * I * \cos \varphi}$$

$$V = \frac{1\,020\,700 \text{ W}}{\sqrt{3} * 266,29 \text{ A} * 0,869}$$

$$V = 2\,545,66 \text{ V}$$

En la siguiente tabla se mostrarán varios valores de potencia de salida calculados de la forma anterior partiendo desde valores de potencia de entrada arbitrarios con el fin de tener un rango de rendimientos para este motor eléctrico.

TABLA 4.7. RENDIMIENTO Y POTENCIAS DE SALIDA DEL MOTOR ELÉCTRICO PARA DIFERENTES POTENCIAS DE ENTRADA.

| Potencia de entrada $P_{eM}(\text{kW})$ | Potencia de salida $P_{sM}(\text{kW})$ | Rendimiento $\eta_M (\%)$ |
|--|---|------------------------------|
| 579,8 | 544,0 | 93,82 |
| 700,0 | 659,8 | 94,26 |
| 900,0 | 852,6 | 94,73 |
| 1 020,7 | 968,9 | 94,92 |
| 1 100,0 | 1 045,3 | 95,03 |
| 1 300,0 | 1 238,1 | 95,24 |
| 1 500,0 | 1 430,8 | 95,39 |
| 1 700,0 | 1 623,6 | 95,50 |
| 1 900,0 | 1 816,3 | 95,60 |
| 1 950,5 | 1 865,0 | 95,62 |

1.1.3. Rendimiento de la bomba.

Para la obtención del rendimiento de la bomba se utilizará los métodos ya explicados en los capítulos anteriores con sus respectivos parámetros.

De la TABLA 3.29., se tomaron las presiones de succión, descarga y los caudales de de la bomba, en horario de las 12:00 pm ya que en ese tiempo se realizó la medición de potencias y otros parámetros en los transformadores.

$$p_{db} = 1070 \text{psi} = 7\,377\,389,99 \frac{N}{m^2} \text{ (TABLA 3.29)}$$

$$p_{eb} = 78 \text{psi} = 537\,791,046 \frac{N}{m^2} \text{ (TABLA 3.29)}$$

En esas horas el caudal solo se lo estuvo entregando al Beaterio y no a Pascuales.

$$\dot{V}_{Pascuales} = 0 \text{ barriles/h} = 0 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (TABLA 3.29)}$$

$$\dot{V}_{Beaterio} = 2\,100 \text{ barriles/h} = 0,093 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (TABLA 3.29)}$$

Para tener el caudal total se suman los caudales erogados por las bombas a las estaciones de Beaterio y Pascuales.

$$\dot{V}_T = \dot{V}_{Pascuales} + \dot{V}_{Beaterio}$$

$$\dot{V}_T = 0,093 \text{ m}^3/\text{s}$$

Diámetro en la succión = $d_s = 6 \text{ plg} = 0,15240 \text{ m}$ (TABLA 3.28)

Diámetro en la descarga = $d_d = 4 \text{ plg} = 0,1016 \text{ m}$ (TABLA 3.28)

De la ecuación (2.43) se obtiene el área de la sección transversal en la tubería de succión de la bomba.

$$A_s = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} \tag{2.43}$$

$$A_s = \frac{\pi * (0,1524m)^2}{4}$$

$$A_s = 0,0182 m^2$$

De la ecuación (2.44) se obtiene el área de la sección transversal en la tubería de descarga de la bomba.

$$A_d = \frac{\pi.d_d^2}{4} \quad (2.44)$$

$$A_d = \frac{\pi.(0,1016m)^2}{4}$$

$$A_d = 0,00811 m^2$$

De la ecuación (2.41) se calculará la velocidad del combustible en la succión de la bomba

$$\bar{V}_{bs} = \frac{\dot{V}_T}{A_s} \quad (2.41)$$

La velocidad de la bomba en la succión será:

$$\bar{V}_{bs} = \frac{0,093 m^3/s}{0,0182m^2}$$

$$\bar{V}_{bs} = 5,10 m/s$$

De la ecuación (2.42) se calculará la velocidad del flujo de combustible en la descarga de la bomba.

$$\bar{V}_{bd} = \frac{\dot{V}_T}{A_d} \quad (2.42)$$

$$\bar{V}_{bd} = \frac{0,093 m^3/s}{0,00811m^2}$$

$$\bar{V}_{bd} = 11,46 m/s$$

Para la altura manométrica se la obtiene de la ecuación (2.48).

$$Hm = \frac{P_{db} - P_{eb}}{\rho * g} + \frac{\bar{V}_{bd}^2 - \bar{V}_{bs}^2}{2 * g} + (Z_2 - Z_1) \quad (2.48)$$

Donde $Z_1 = Z_2$, por lo tanto la altura manométrica será:

$$Hr = \frac{(7\,377\,389,99 - 537\,791,046) \frac{N}{m^2}}{843,94 \frac{Kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2}} + \frac{(11,467 \frac{m}{s})^2 - (5,109 \frac{m}{s})^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$Hr = 832,35 \text{ m}$$

La potencia de salida de la bomba está dada por la ecuación (2.46):

$$P_{sb} = \dot{V} * Hm * \rho * g \quad (2.46)$$

$$P_{sb} = 843,94 \frac{Kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2} * 0,093 \frac{m^3}{s} * 832,35 m$$

$$P_{sb} = 640,21 \text{ kW}$$

La potencia de salida del motor eléctrico es la potencia de entrada de la bomba

$$P_{SM} = P_{eb} = 968,89 \text{ kW}$$

De la ecuación (2.45) se obtiene el rendimiento de la bomba.

$$\eta = \frac{P_{sb}}{P_{eb}} \quad (2.45)$$

$$\eta_b = \frac{640,21 \text{ kW}}{968,89 \text{ kW}} * 100\%$$

$$\eta_b = 66,08\%$$

1.1.4. Evaluación de cada grupo de bombeo.

Para cuantificar la eficiencia se mencionarán cada uno de los datos de potencia ya calculados en los temas anteriores.

1.1.4.1. Rendimiento de los Grupos I, II, III (motor de combustión interna–bomba centrífuga).

Datos de potencia de salida de cada una de las bombas acopladas a los motores de combustión interna tomados de la TABLA 4.5.

$$P_{sb1} = 290,11 \text{ kW}$$

$$P_{sb2} = 372,02 \text{ kW}$$

$$P_{sb3} = 356,58 \text{ kW}$$

Datos tomados de la TABLA 4.2., en los que se indica el calor aportado por el combustible consumido en cada motor de los grupos I II III.

$$Q_{c1} = 1\,265,54 \text{ kW}$$

$$Q_{c2} = 1\,432,48 \text{ kW}$$

$$Q_{c3} = 1\,329,43 \text{ kW}$$

De la ecuación (2.50) se obtiene el rendimiento de cada uno de los grupos I, II, III

$$\eta = \frac{P_{sb}}{Q_c} \quad (2.50)$$

De esta manera el rendimiento para el primer grupo será:

$$\eta = \frac{290,11 \text{ kW}}{1\,265,54 \text{ kW}}$$

$$\eta = 0,2292 * 100\%$$

$$\eta = 22,92\%$$

El mismo procedimiento de cálculo se continúa para hallar los rendimientos de los otros grupos de bombeo

1.1.4.2. Rendimiento del grupo IV (motor eléctrico –bomba centrífuga).

De la ecuación (2.49) se obtendrá el rendimiento del Grupo IV

$$\eta = \frac{P_{sb}}{P_{eM}} \quad (2.49)$$

Donde: $P_{eM} = 1\,020,7\text{ kW}$

$$\eta = \frac{640,21\text{ kW}}{1\,020,7\text{ kW}} * 100\%$$

$$\eta = 62,72\%$$

TABLA 4.8. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE CADA GRUPO DE BOMBEO.

| Grupos | P_{sb} (kW) | Q_c (kW) | η (%) |
|-----------|---------------|---------------|------------|
| Grupo I | 290,11 | 1 265,54 | 22,92 |
| Grupo II | 372,02 | 1 432,48 | 25,97 |
| Grupo III | 356,58 | 1 329,43 | 26,82 |
| Grupo | P_{sb} (kW) | P_{eM} (kW) | η (%) |
| Grupo IV | 640,21 | 1 020,7 | 62,72 |

1.1.5. Rendimiento de los motores eléctricos de los ventiladores.

La potencia eléctrica de entrada se obtiene de la ecuación (2.34) y utilizando los datos de la TABLAS 3.38, 3.39, 3.40 y 3.41, pero antes se extraen los valores promedio en vista de que hay una variación entre los datos tomados y además como se dijo la conexión está en triángulo. Se tomará como ejemplo con los datos de la TABLA 3.39. así:

$$V_{AB} = \frac{(490 + 487 + 488)V}{3} = 488,33\text{ V}$$

$$V_{BC} = \frac{(487 + 497 + 486)V}{3} = 490,0 V$$

$$V_{BC} = \frac{(488 + 486 + 487)V}{3} = 487,0 V$$

$$I_A = \frac{(21,7 + 21,6 + 21,8)A}{3} = 21,7 A$$

$$I_B = \frac{(21,6 + 21,4 + 21,8)A}{3} = 21,6 A$$

$$I_A = \frac{(20,6 + 21 + 20,4)A}{3} = 20,67 A$$

Por lo tanto los resultados se muestran en las siguientes tablas:

TABLA 4.9. PROMEDIOS DE VOLTAJES Y CORRIENTES DEL VENTILADOR I.

| VARIABLES | PROMEDIO |
|--------------|----------|
| V_{AB} (V) | 488,33 |
| V_{BC} (V) | 490,0 |
| V_{CD} (V) | 487,0 |
| I_A (A) | 21,7 |
| I_B (A) | 21,6 |
| I_C (A) | 20,67 |

TABLA 4.10. PROMEDIOS DE VOLTAJES Y CORRIENTES DEL VENTILADOR II.

| VARIABLES | PROMEDIO |
|--------------|----------|
| V_{AB} (V) | 489,00 |
| V_{BC} (V) | 490,6 |
| V_{AC} (V) | 490,7 |
| I_A (A) | 22,03 |
| I_B (A) | 21,87 |
| I_C (A) | 21,80 |

TABLA 4.11. PROMEDIOS DE VOLTAJES Y CORRIENTES DEL VENTILADOR III.

| VARIABLES | PROMEDIO |
|--------------|----------|
| V_{AB} (V) | 486,60 |
| V_{BC} (V) | 490,3 |
| V_{AC} (V) | 490,0 |
| I_A (A) | 22,20 |
| I_B (A) | 22,06 |
| I_C (A) | 21,96 |

Motor I Potencia línea AB

Para la potencia de entrada del motor se aplica la ecuación (2.34).

$$P_{e_M} = \sqrt{3} * V * I * \cos \varphi \quad (2.34)$$

Donde el factor de potencia es:

$$\cos \varphi = 0,82 \text{ (TABLA 3.38)}$$

De esta manera la potencia en la entrada del motor eléctrico del ventilador I será:

$$P_{e_M} = \sqrt{3} * 488,33V * 21,7A * 0,82$$

$$P_{e_M} = 15,05 \text{ kW}$$

Los resultados de potencias para los demás datos quedan de la siguiente forma:

TABLA 4.12. POTENCIAS DE ENTRADA EN EL MOTOR DEL VENTILADOR I.

| | |
|---------------|-------|
| P_{AB} (kW) | 15,05 |
| P_{BC} (kW) | 15,03 |
| P_{AC} (kW) | 14,29 |
| Promedio (kW) | 14,79 |

TABLA 4.13. POTENCIAS DE ENTRADA EN EL MOTOR DEL VENTILADOR II.

| | |
|----------------------|-------|
| P _{AB} (kW) | 15,30 |
| P _{BC} (kW) | 15,23 |
| P _{AC} (kW) | 15,19 |
| Promedio (kW) | 15,24 |

TABLA 4.14. POTENCIAS DE ENTRADA EN EL MOTOR DEL VENTILADOR III.

| | |
|----------------------|-------|
| P _{AB} (kW) | 15,34 |
| P _{BC} (kW) | 15,36 |
| P _{AC} (kW) | 15,28 |
| Promedio (kW) | 15,33 |

Cada uno de los promedios indica la potencia total que están ingresando a cada uno de los motores.

Los datos siguientes son datos de placa del motor eléctrico del primer ventilador.

Datos:

$$V_p = 460 \text{ V (TABLA 3.38.)}$$

$$I_p = 25,5 \text{ V (TABLA 3.38.)}$$

$$P_{placa} = 14,7 \text{ kW (TABLA 3.38.)}$$

Se tomará como ejemplo en la línea AB este cálculo y para las demás líneas en todos los motores se hará el mismo procedimiento.

Se desarrolla el cálculo del factor de carga con la ecuación (2.38)

$$\%Carga = \frac{V}{V_p} * \frac{I}{I_p} * 100\% \quad (2.38)$$

$$\%Carga = \frac{488,33 V}{460 V} * \frac{21,7 A}{25,5 A} * 100\%$$

$$\%Carga = 90,34\%$$

Del mismo modo se calcula los valores promedios para los otros motores en cada una de sus líneas.

TABLA 4.15. FACTOR DE CARGA PARA EL MOTOR DEL VENTILADOR I.

| % Carga | |
|---------------------|-------|
| Línea _{AB} | 90,34 |
| Línea _{BC} | 90,23 |
| Línea _{AC} | 85,80 |
| Promedio | 88,79 |

TABLA 4.16. FACTOR DE CARGA PARA EL MOTOR DEL VENTILADOR II.

| % Carga | |
|---------------------|-------|
| Línea _{AB} | 91,85 |
| Línea _{BC} | 91,46 |
| Línea _{AC} | 91,19 |
| Promedio | 91,5 |

TABLA 4.17. FACTOR DE CARGA PARA EL MOTOR DEL VENTILADOR III.

| % Carga | |
|---------------------|-------|
| Línea _{AB} | 92,09 |
| Línea _{BC} | 92,24 |
| Línea _{AC} | 91,76 |
| Promedio | 92,03 |

Para la potencia de salida del motor eléctrico del ventilador I se toma la ecuación (2.39).

$$P_{sM} = P_{placa} * \%Carga \quad (2.39)$$

Donde:

$$P_{placa} = 14,7 \text{ kW (TABLA 3.38.)}$$

$$\%Carga = 88,79 \% \text{ (TABLA 4.15.)}$$

Por lo tanto la potencia de salida del motor eléctrico del ventilador I será:

$$P_{sM} = 14,7 \text{ kW} * \frac{88,79}{100}$$

$$P_{sM} = 13,05 \text{ kW}$$

Para el rendimiento se hace uso de la ecuación (2.37).

$$\eta = \frac{P_{sM}}{P_{eM}} \quad (2.37)$$

Donde:

$$P_{eM} = 14,792 \text{ kW (TABLA 4.12.)}$$

$$\eta = \frac{13,5 \text{ kW}}{14,792 \text{ kW}} * 100\%$$

$$\eta = 88,24 \%$$

TABLA 4.18. RESULTADOS DE POTENCIAS Y RENDIMIENTOS DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE LOS VENTILADORES.

| Motores | Potencia de entrada P_{eM} (kW) | Potencia de salida P_{sM} P_{sM} (kW) | Rendimiento (η) % |
|-----------|--------------------------------------|--|-----------------------------|
| Motor I | 14,79 | 13,05 | 88,24 |
| Motor II | 15,24 | 13,45 | 88,23 |
| Motor III | 15,33 | 13,52 | 88,17 |

1.1.6. Rendimiento de los motores eléctricos de los compresores.

En los compresores se sigue los mismos pasos para obtener la potencia de entrada de igual forma cada uno de los ejemplos que se mostrarán posteriormente serán realizados en la línea AB.

Primeramente se extraerán los valores promedios de las siguientes TABLAS 3.22 y 3.23.

TABLA 4.19. PROMEDIOS DE VOLTAJES Y CORRIENTES DEL COMPRESOR I.

| VARIABLES | PROMEDIO |
|-----------|----------|
| Vab (V) | 491,10 |
| Vbc (V) | 487,67 |
| Vac (V) | 489,00 |
| Ia (A) | 13,90 |
| Ib (A) | 13,89 |
| Ic (A) | 13,97 |

TABLA 4.20. PROMEDIOS DE VOLTAJES Y CORRIENTES DEL COMPRESOR II.

| VARIABLES | PROMEDIO |
|---------------------|----------|
| V _{AB} (V) | 489,67 |
| V _{BC} (V) | 488,67 |
| V _{AC} (V) | 488,33 |
| I _A (A) | 13,50 |
| I _B (A) | 13,67 |
| I _C (A) | 13,90 |

Datos:

$$\cos \varphi = 0,84 \text{ (TABLA 3.21.)}$$

De la ecuación (2.34) se obtiene la potencia de entrada del motor eléctrico.

$$Pe_M = \sqrt{3} * V * I * \cos \varphi \quad (2.34)$$

La potencia de entrada del motor del compresor I será:

$$Pe_M = \sqrt{3} * 491,10V * 13,90A * 0,84$$

$$Pe_M = 9,61 \text{ kW}$$

Por lo tanto el resultado para las otras líneas y a la vez de los otros motores se muestra en las siguientes tablas:

TABLA 4.21. POTENCIAS DE ENTRADA EN EL MOTOR DEL COMPRESOR I.

| | |
|----------------------|------|
| P _{AB} (kW) | 9,61 |
| P _{BC} (kW) | 9,71 |
| P _{AC} (kW) | 9,87 |
| Promedio (kW) | 9,73 |

TABLA 4.22. POTENCIAS DE ENTRADA EN EL MOTOR DEL COMPRESOR II.

| | |
|-----------------------|------|
| P _{AB} (Kw) | 9,93 |
| P _{BC} (kW)) | 9,85 |
| P _{AC} (kW) | 9,93 |
| Promedio (Kw) | 9,91 |

Con la ecuación (2.38) se determina el factor de carga:

$$\%Carga = \frac{V}{V_p} * \frac{I}{I_p} * 100\% \quad (2.38)$$

$$\%Carga = \frac{491,1 \text{ V}}{460 \text{ V}} * \frac{13,90 \text{ A}}{18,7 \text{ A}} * 100\%$$

$$\%Carga = 76,85 \%$$

TABLA 4.23. FACTOR DE CARGA PARA EL MOTOR DEL COMPRESOR I.

| % Carga | |
|---------------------|-------|
| Línea _{AB} | 76,85 |
| Línea _{BC} | 77,64 |
| Línea _{AC} | 78,91 |
| Promedio | 77,79 |

TABLA 4.24. FACTOR DE CARGA PARA EL MOTOR DEL COMPRESOR II.

| % Carga | |
|---------------------|-------|
| Línea _{AB} | 79,36 |
| Línea _{BC} | 78,75 |
| Línea _{AC} | 79,40 |
| Promedio | 79,16 |

De la ecuación (2.39) se obtiene la potencia de salida en el motor eléctrico del compresor I.

$$P_{sM} = P_{placa} * \%Carga \quad (2.39)$$

Donde:

$$P_{placa} = 10,99 \text{ kW (TABLA 3.21.)}$$

$$\%Carga = 76,79 \% \text{ (TABLA 4.23.)}$$

Por lo tanto para la potencia de salida en el motor eléctrico se utilizará el *% Carga* promedio del compresor I y la potencia de placa, quedando expresado de la siguiente manera:

$$P_{sM} = 10,99 \text{ kW} * \frac{77,79 \%}{100 \%}$$

$$P_{sM} = 8,55 \text{ kW}$$

El rendimiento se calcula con la ecuación (2.37).

$$\eta = \frac{P_{sM}}{P_{eM}} \quad (2.37).$$

Donde:

$$P_{eM} = 9,737 \text{ kW (TABLA 4.21.)}$$

Por lo tanto el rendimiento será:

$$\eta = \frac{8,55 \text{ kW}}{9,73 \text{ kW}} \%100$$

$$\eta = 87,81\%$$

TABLA 4.25. RESULTADOS DE POTENCIAS Y RENDIMIENTOS DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE LOS COMPRESORES.

| Motores | Potencia de entrada P_{eM} (kW) | Potencia de salida P_{sM} P_{sM} (kW) | Rendimiento (η) % |
|----------|--------------------------------------|--|-----------------------------|
| Motor I | 9,73 | 8,55 | 87,81 |
| Motor II | 9,90 | 8,70 | 87,81 |

1.2. Gráficas rendimientos de máquinas y equipos de la instalación.

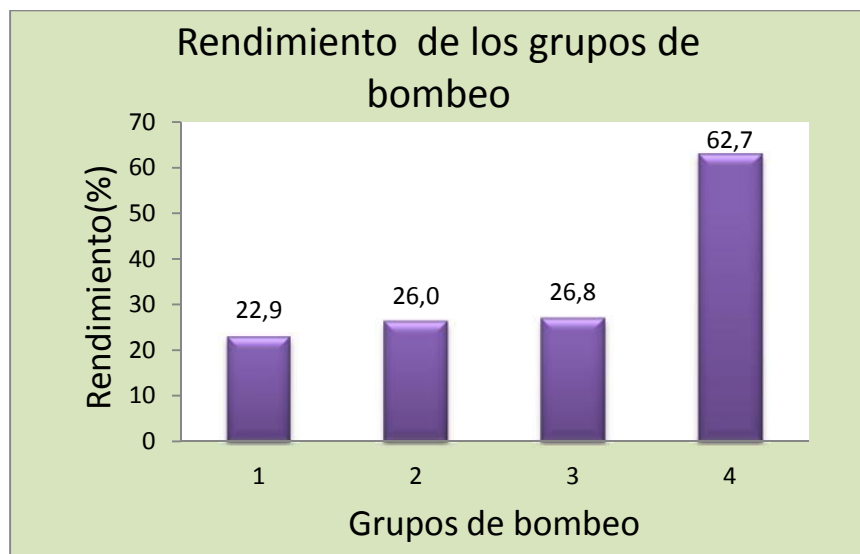


Figura 4.5. Gráfica de rendimientos de los grupos de bombeo.

Según la Figura 4.5., se muestra que el grupo 4 (motor eléctrico-bomba) es el más eficiente a comparación de los otros 3 grupos, porque el motor eléctrico presenta un rendimiento del 95%.



Figura 4.6. Gráfica de rendimientos bombas centrífugas multietapa.

Según la Figura 4.6., se muestra que las bombas centrífugas acopladas a los motores de combustión interna son más eficientes a comparación de la bomba del

motor eléctrico ABB, porque estas bombas tienen un menor número etapas que la bomba del motor eléctrico por lo que se generan menos pérdidas.

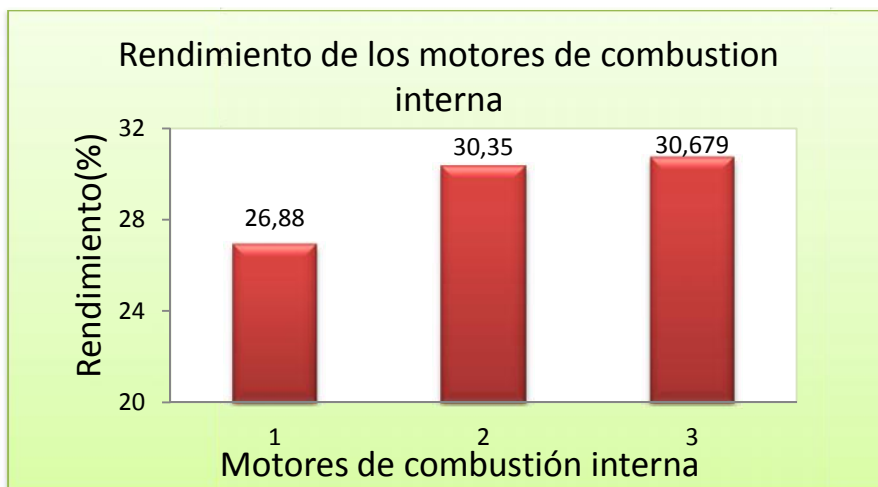


Figura 4.7. Gráfica de rendimientos en cada uno de los motores de combustión interna que funciona en el sistema primario.

Según la *Figura 4.7.*, el motor de combustión interna N°3 presenta una mayor eficiencia en comparación con los otros motores, porque éste motor ha tenido menos horas de trabajo.

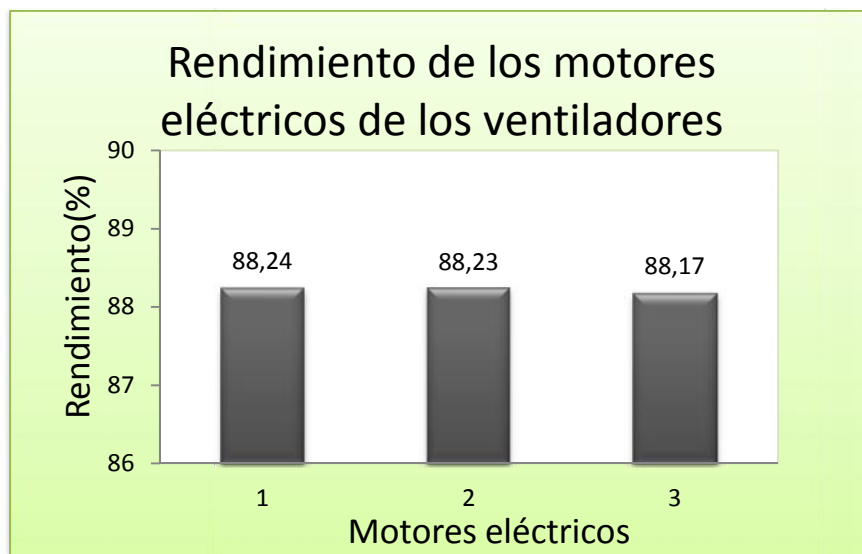


Figura 4.8. Gráfica de rendimientos en cada uno de los motores eléctricos de los ventiladores.

Según la *Figura 4.8.*, los motores eléctricos de los ventiladores presentan un valor de eficiencia aproximadamente igual, porque estos motores llevan el mismo tiempo de funcionamiento y se han mantenido en un mismo programa de mantenimiento.

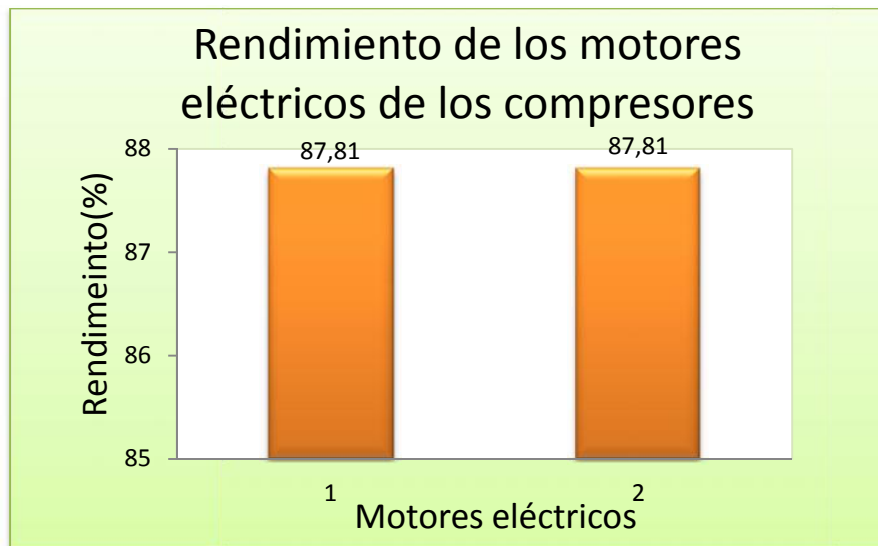


Figura 4.9. Gráfica de rendimientos en cada uno de los motores eléctricos de los compresores.

La *Figura 4.9.*, indica que los motores eléctricos de los compresores tienen la misma eficiencia, porque estos motores llevan el mismo tiempo de funcionamiento y se han mantenido en un mismo programa de mantenimiento

1.3. Producción.

Para la cuantificación de la producción se pondrá en manifiesto los análisis en función de registros anteriores y actuales en cuanto al volumen de combustible erogado. En cada una de las bombas instaladas en el grupo de bombeo se los ha considerado necesario separar para el análisis en dos sistemas: sistema primario y secundario, siendo para el primero el motor eléctrico –bomba, y para el otro sistema los motores de combustión interna –bombas.

Sistema primario

TABLA 4.26. RESULTADOS DE PRODUCCIÓN EN LA BOMBA P-204. [56]

| meses año 2010 | Volumen de combustible (barril) | | | | | Total (barril) |
|-------------------|---------------------------------|----------------|---------|---------|----------|-------------------|
| | gasolina extra | gasolina super | diesel1 | diesel2 | jet fuel | |
| Marzo | 277 172 | 162 333 | 217 128 | 554 606 | 96 762 | 1 308 001 |
| Abril | 274 212 | 323 078 | 894 962 | 360 171 | 67 953 | 1 920 376 |
| Mayo | 166 844 | 53 038 | 35 909 | 175 920 | 14 012 | 445 723 |
| Junio | 154 032 | 262 926 | 238 251 | 426 313 | 121 565 | 1 203 087 |
| Julio | 280 570 | 237 738 | 181 069 | 531 172 | 100 242 | 1 330 791 |
| Agosto | 241 294 | 394 298 | 149 814 | 548 179 | 157 209 | 1 490 794 |

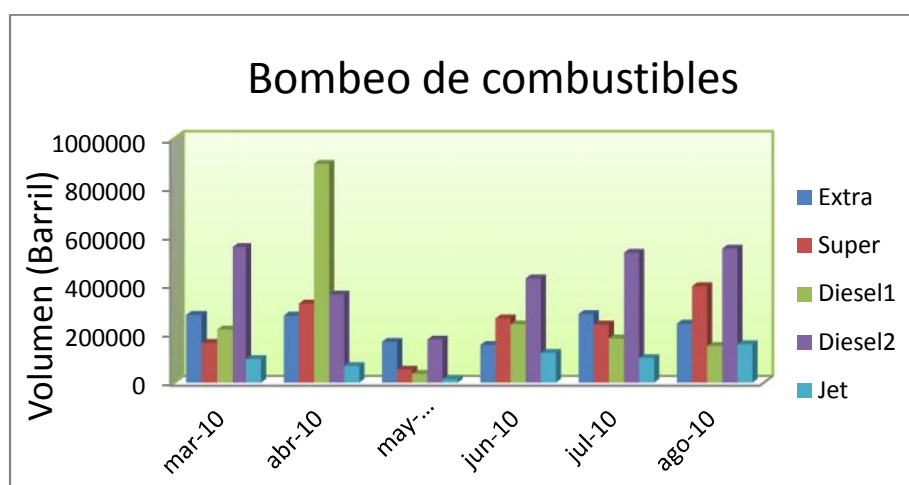


Figura 4.10. Gráfica producción de combustibles de la bomba P-204.

TABLA 4.27. RESULTADOS DE PRODUCCIÓN EN LA BOMBA P-204. [56]

| Año | Mes | Volumen de combustible (barril) | | | | | Total (barril) |
|------|------------|---------------------------------|---------|----------|----------------|----------------|----------------|
| | | diesel 1 | diesel2 | Jet fuel | gasolina extra | gasolina super | |
| 2010 | Septiembre | 145 214 | 355 900 | 212 341 | 251 262 | 349 687 | 1 314 404 |
| | Octubre | 176 078 | 467 747 | 144 872 | 226 136 | 385 622 | 1 400 455 |
| | Noviembre | 112 753 | 361 490 | 104 884 | 288 307 | 211 193 | 1 078 627 |
| | Diciembre | 133 024 | 189 842 | 115 051 | 203 237 | 141 336 | 782 490 |
| 2011 | Enero | 192 586 | 491 716 | 169 893 | 285 037 | 359 997 | 1 499 229 |
| | Febrero | 176 879 | 419 699 | 233 028 | 308 807 | 195 581 | 1 333 994 |
| | Marzo | 146 611 | 226 067 | 82 645 | 363 400 | 325 389 | 1 144 112 |

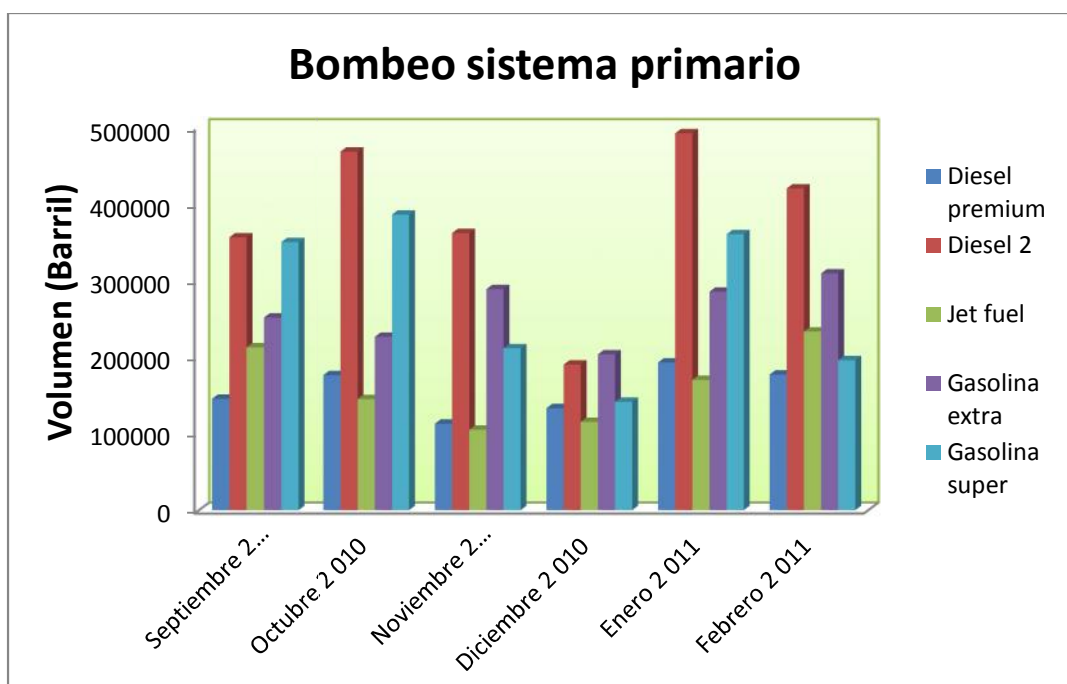


Figura 4.11. Gráfica de producción de combustibles de la bomba P-104.

En la Figura 4.10., se muestran los diferentes combustibles bombeados en los meses antes del periodo en estudio, siendo el de mayor demanda el diesel 2. En los meses en los que se desarrolla el estudio la *Figura 4.11.*, muestra que el combustible de mayor demanda de igual forma es el diesel 2.

Sistema secundario

TABLA 4.28. RESULTADOS DE PRODUCCIÓN EN LAS BOMBAS P-201, P-202, P-203. [56]

| Meses | Volumen de combustible (barril) | | | | | |
|--------|----------------------------------|----------------|---------|-----------|----------|-----------------|
| | gasolina extra | gasolina super | diesel1 | diesel2 | Jet fuel | Total (barril) |
| Marzo | 0 | 0 | 0 | 1 080 843 | 0 | 1 080 843 |
| Abril | 68 771 | 65 510 | 7 443 | 0 | 720 | 142 444 |
| Mayo | 120 491 | 190 841 | 234 281 | 253 118 | 81 646 | 880 377 |
| Junio | 0 | 9 182 | 0 | 8 992 | 0 | 18 174 |
| Julio | 0 | 0 | 0 | 48 804 | 0 | 48 804 |
| Agosto | 4 261 | 33 810 | 0 | 0 | 0 | 38 071 |

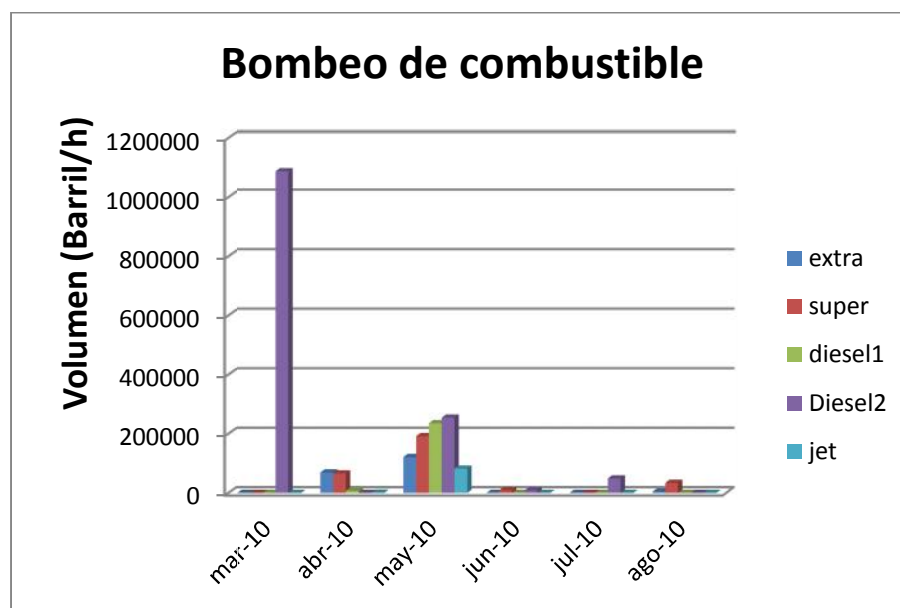


Figura 4.12. Gráfica de producción de combustibles de las bombas P-201, P-202, P203.

TABLA 4.29. RESULTADOS DE PRODUCCIÓN EN LAS BOMBAS P-201, P-202, P-203. [56]

| Año | Mes | Volumen de combustible (barril) | | | | | Total |
|-------|------------|---------------------------------|---------|----------|----------------|----------------|---------|
| | | diesel 1 | diesel2 | Jet fuel | gasolina extra | gasolina super | |
| 2 010 | Septiembre | 0 | 17 114 | 0 | 0 | 0 | 17 114 |
| | Octubre | 0 | 6 933 | 2 247 | 1 195 | 0 | 10 375 |
| | Noviembre | 0 | 53 231 | 11 103 | 0 | 8 051 | 72 385 |
| | Diciembre | 59 149 | 408 099 | 29 455 | 104 321 | 49 928 | 650 952 |
| 2 011 | Enero | 0 | 10 459 | 0 | 0 | 0 | 10 459 |
| | Febrero | 0 | 0 | 17 713 | 0 | 20 472 | 38 185 |
| | Marzo | 46 259 | 144 784 | 42 273 | 84 337 | 31 016 | 348 669 |

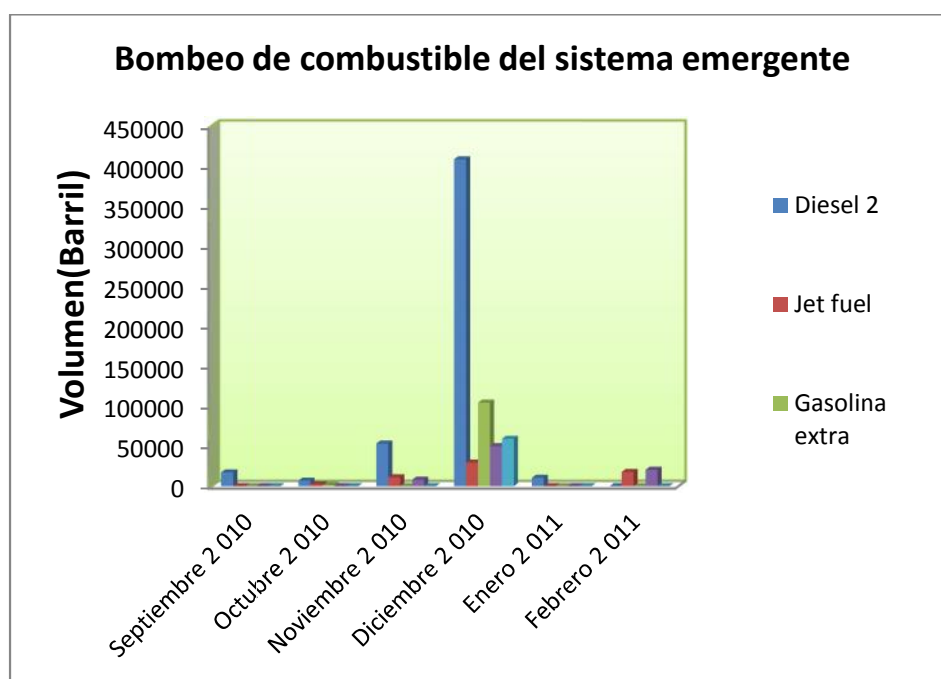


Figura 4.13. Gráfica de producción de combustibles de las bombas P-201, P-202, P-203.

Para el sistema emergente en los seis meses anteriores al periodo de estudio según la Figura 4.12, la producción de combustible que más se transportó es el diesel 2, para los meses posteriores es decir al periodo mencionado el combustible con mayor demanda es el diesel 2 de igual forma.

Bombeo total

TABLA 4.30. BOMBEO TOTAL. [56]

| Meses | Volumen de combustible (barril) | | | | | Total |
|-------------|---------------------------------|---------|----------|----------------|----------------|-----------|
| | diesel 1 | diesel2 | Jet fuel | gasolina extra | gasolina super | |
| Septiembre | 145 214 | 373 014 | 212 341 | 251 262 | 349 687 | 1 331 518 |
| Octubre | 176 078 | 474 680 | 147 119 | 227 331 | 385 622 | 1 410 830 |
| Noviembre | 112 753 | 414 721 | 115 987 | 288 307 | 219 244 | 1 151 012 |
| Diciembre | 192 173 | 597 941 | 144 506 | 307 558 | 191 264 | 1 433 442 |
| Enero | 192 586 | 502 175 | 169 893 | 285 037 | 359 997 | 1 509 688 |
| Febrero | 176 879 | 419 699 | 250 741 | 308 807 | 216 053 | 1 372 179 |
| Marzo 2 011 | 192 870 | 370 851 | 124 918 | 447 737 | 356 405 | 1 492 781 |

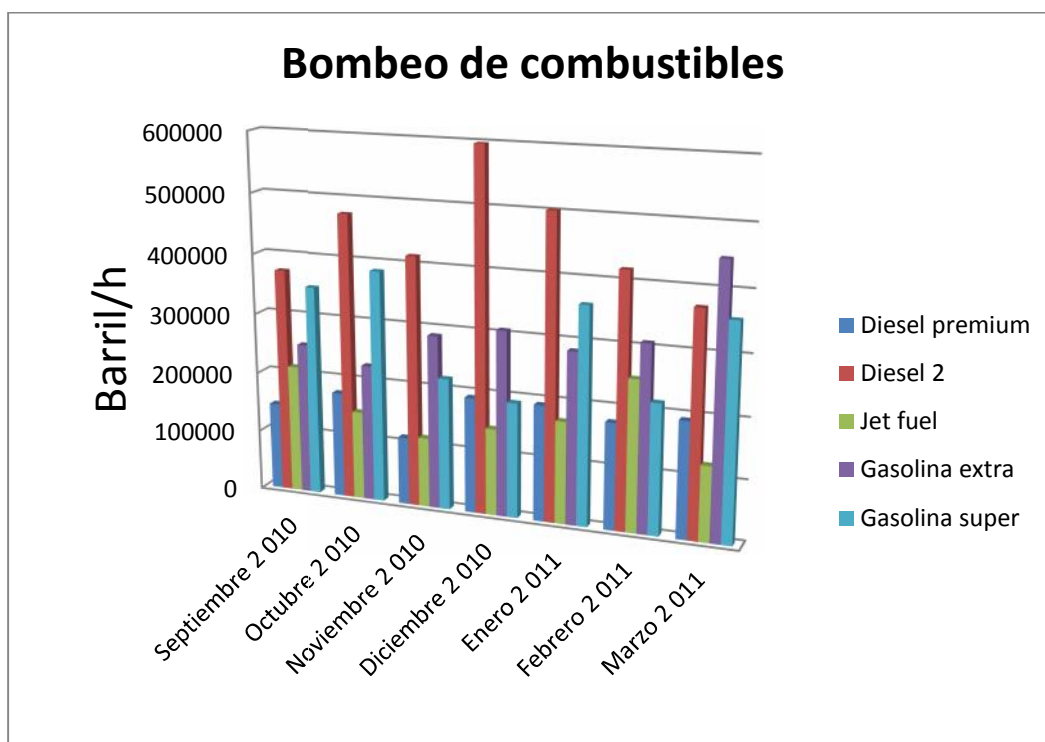


Figura 4.14. Gráfica de producción total de bombeo de combustibles.

1.4. Curvas de producción vs consumo.

En la siguiente tabla se muestran los datos de consumo de energía eléctrica en la estación dados por las planillas mensuales facturadas por la CNEL, y los datos de producción de combustibles.

TABLA 4.31. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL MOTOR ABB Y CANTIDAD TOTAL DE COMBUSTIBLES ENVIADOS POR LA BOMBA P-204.

| Meses en el año 2010 | Consumo de energía (kWh) | Caudal bombeado total (barril/h) |
|----------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Marzo | 732 000 | 1 308 001 |
| Abril | 575 000 | 1 920 376 |
| Mayo | 307 000 | 445 723 |
| Junio | 777 000 | 1 203 087 |
| Julio | 777 000 | 1 330 791 |

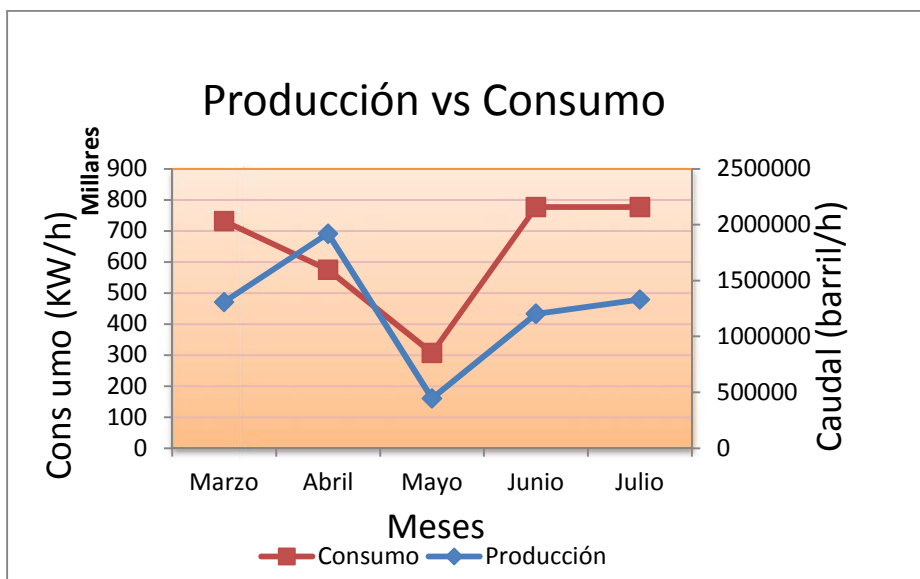


Figura 4.15. Gráfica producción- combustible de la bomba P-204.

Ver más detalles de datos de consumo de energía eléctrica en las planillas que están en el **Anexo [8]**.

Sistema emergente.

El consumo de combustible en los motores de combustión interna, se lo determinará a partir del caudal que consumen los mismos, entonces:

$$\dot{V} = 0,1257 \frac{m^3}{h}$$

el volumen será:

$$V = 0,1257 \frac{m^3}{h} * t$$

$$V = 0,1257 \frac{m^3}{h} * 10h$$

$$V = 1,25 m^3$$

TABLA 4.32. DATOS TOMADOS DEL SISTEMA EMERGENTE. [56]

| Meses | Bombeo Barriles | Caudal de consumo m ³ /h | Tiempo de funcionamiento h | Volumen consumido m ³ |
|------------------|-----------------|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Septiembre 2 010 | 17 114 | 0,1257 | 10 | 1,25 |
| Octubre 2 010 | 10 375 | 0,2474 | 7 | 1,73 |
| Noviembre 2 010 | 72 385 | 0,2765 | 40 | 11,06 |
| Diciembre 2 010 | 650 952 | 0,2551 | 336 | 85,71 |
| Enero 2 011 | 10 459 | 0,2979 | 8 | 2,38 |
| Febrero 2 011 | 38 185 | 0,2327 | 18 | 4,18 |
| Marzo 2 011 | 348 669 | 0,2765 | 126 | 34,83 |

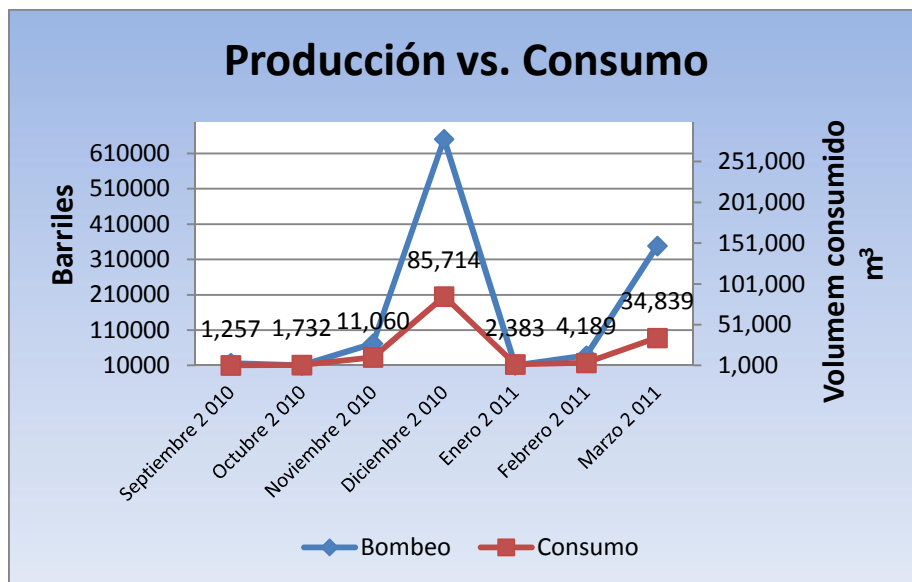


Figura 4.16. Representación de la producción y el consumo de combustible.

1.5. Costos de consumo de energía.

Para el análisis de costos de energía eléctrica consumida, se estableció realizar dicho análisis según un horario promedio de funcionamiento al día por todos los equipos y máquinas en cada una de las áreas.

Costo del consumo de energía eléctrica por equipos de aire acondicionado.

Primeramente para obtener el costo total se debe obtener el consumo mensual que a su vez está relacionado directamente con el número de equipos de aire acondicionado, la potencia de entrada P_e al equipo y el tiempo que están funcionando en el mes, expresado todo lo mencionado anteriormente en la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo} = N^{\circ} \text{de equipos} * P_e * \text{tiempo}$$

Se toma los datos correspondientes a la TABLA 3.37, por lo tanto para el primer dato de equipos de aire acondicionado en el departamento de operaciones se tiene que:

$$\text{Consumo} = 4 * 1\,200W * \frac{kW}{1\,000W} * \frac{24\,h}{1\,día} * 30días$$

$$\text{Consumo} = 3\,456\,kWh$$

Para encontrar los demás datos de consumo de energía se debe realizar el mismo proceso de cálculo pero para tener un total se debe sumar todos los consumos de cada uno de los equipos, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 4.33. RESULTADOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA POR LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO EN CADA UNA DE LAS ÁREAS DE LA PLANTA.

| Oficina | N° de Equipo | Potencia P_e (w) | Tiempo de funcionamiento (h/día) | Consumo en el mes (kWh) |
|--|--------------|--------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Operaciones | 4 | 1 200 | 24 | 3 456 |
| Intendencia | 6 | 1 200 | 8 | 1 728 |
| Mantenimiento mecánico | 2 | 1 200 | 8 | 576 |
| Mantenimiento eléctrico | 1 | 1 200 | 8 | 288 |
| Bodega | 1 | 1 200 | 8 | 288 |
| Mantenimiento en línea | 1 | 1 200 | 8 | 288 |
| L.C.C.M.A | 2 | 1 200 | 8 | 576 |
| Viviendas(bloque A) | 9 | 1 200 | 8 | 2 592 |
| Viviendas(bloque B) | 7 | 1 200 | 8 | 2 016 |
| Viviendas(bloque C) | 8 | 1 200 | 8 | 2 304 |
| Viviendas(bloque D) | 10 | 1 200 | 8 | 2 880 |
| Gimnasio | 2 | 1 200 | 4 | 288 |
| Viviendas(Sihama) | 8 | 1 200 | 8 | 1 920 |
| Consumo total mensual de energía eléctrica | | | | 19 200 |

Por lo tanto tomando como referencia que el kWh esta con el precio de 0,07 USD, y el dato de consumo total de energía eléctrica por cada mes tomado de la tabla anterior, se tiene el siguiente costo mensual por consumo energético de éstos equipos, de la siguiente manera:

$$\text{Costo total} = \text{Consumo total} * \text{precio del kWh}$$

$$\text{Costo total por equipos de aire acondicionado} = 19\,200 \text{ kWh} * \frac{0,07 \text{ USD}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo por equipos de aire acondicionado} = 1\,344 \text{ USD.}$$

Se realizará el mismo procedimiento de cálculo para los otros costos de energía eléctrica en los demás equipos y máquinas de la estación.

Costo del consumo de energía eléctrica de los equipos que se encuentra en el laboratorio de control de calidad y ambiente.

$$\text{Consumo de equipos del L. C. C. A.} = 1 * 745W * \frac{kW}{1000 W} * \frac{3 h}{1 día} * 30 días$$

$$\text{Consumo de equipos del L. C. C. A} = 67,05 kWh$$

TABLA 4.34. RESULTADOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA DE LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD Y AMBIENTE (L.C.C.A).

| Oficina | Cantidad | Potencia P _e (W) | Tiempo de funcionamiento (h/día) | Consumo del mes (kWh) |
|--|----------|-----------------------------------|---|-----------------------------|
| Destilador1 ASTM Automático | 1 | 745 | 3 | 67,05 |
| Destilador 2ASTM | 1 | 745 | 3 | 67,05 |
| Destilador 3ASTM | 1 | 745 | 3 | 67,05 |
| Viscosímetro | 1 | 400 | 4 | 48 |
| Punto inflamación Automático PENSKEY-MARTENS | 1 | 558 | 3 | 50,22 |
| Punto de inflamación | 1 | 250 | 4 | 30 |
| Punto de inflamación | 1 | 250 | 3 | 22,5 |
| Equipo para corrosión lámina cobre | 1 | 500 | 3 | 45 |
| Presión de vapor REID | 1 | 600 | 3 | 54 |
| Campana de extracción | 1 | 745 | 4 | 89,4 |
| Centrífuga | 1 | 745 | 2 | 44,7 |
| Purificador de agua | 1 | 400 | 3 | 36 |
| Compresor | 1 | 1 490 | 2 | 89,4 |
| Espectrofotómetro | 1 | 600 | 3 | 54 |
| Balanza | 1 | 400 | 4 | 48 |
| Campana | 2 | 600 | 4 | 144 |
| Nevera | 1 | 300 | 24 | 216 |
| Turbilímetro | 1 | 200 | | 0 |
| Consumo total mensual de energía eléctrica | | | | 1 172,37 |

$$\text{Costo total equipos del L. C. C. A.} = 1 172,37 kWh * \frac{0,07 USD}{kWh}$$

$$\text{Costo total equipos del L. C. C. A.} = 82,1 USD.$$

Costo del consumo de energía eléctrica de los equipos de oficina.

$$\text{Consumo de equipos de oficina} = 2 * 200 \text{ W} * \frac{\text{kW}}{1\,000 \text{ W}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * 30 \text{ días}$$

$$\text{Consumo de equipos de oficina} = 288 \text{ kWh}$$

TABLA 4.35. RESULTADOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA DE LOS EQUIPOS DE OFICINA EN CADA UNA DE LAS ÁREAS DE LA PLANTA.

| Oficina | Descripción | Cantidad | Potencia P_e (W) | Tiempo (h/día) | Consumo en el mes (kWh) |
|--|----------------|----------|--------------------|----------------|-------------------------|
| Operaciones | Refrigeradora | 2 | 200 | 24 | 288 |
| | Grabadora | 2 | 40 | 5 | 12 |
| | Televisión | 2 | 141 | 24 | 203,04 |
| | Computadoras | 7 | 100 | 24 | 504 |
| Intendencia | Refrigeradora | 2 | 200 | 24 | 288 |
| | Copiadoras | 2 | 800 | 8 | 384 |
| | Televisión | 1 | 141 | 1 | 4,23 |
| | Computadoras | 4 | 200 | 8 | 192 |
| Mantenimiento Mecánico | Impresora | 4 | 150 | 8 | 144 |
| | Refrigeradora | 1 | 290 | 24 | 208,88 |
| | Computadoras | 2 | 100 | 20 | 120 |
| | Impresoras | 1 | 150 | 8 | 36 |
| Mantenimiento Eléctrico | Grabadora | 1 | 40 | 20 | 24 |
| | Refrigeradora | 1 | 290 | 24 | 208,8 |
| | Computadoras | 2 | 200 | 12 | 144 |
| | Impresoras | 1 | 150 | 12 | 54 |
| Bodega | Grabadora | 1 | 40 | 8 | 9,6 |
| | Refrigeradora | 1 | 300 | 24 | 216 |
| | Computadoras | 2 | 200 | 8 | 96 |
| | Impresoras | 2 | 150 | 8 | 72 |
| Terminal | Grabadora | 1 | 40 | 8 | 9,6 |
| | Refrigeradoras | 2 | 290 | 24 | 417,6 |
| | Computadoras | 10 | 200 | 8 | 480 |
| | Impresoras | 2 | 150 | 8 | 72 |
| Mantenimiento en línea | Televisión | 1 | 141 | 2 | 8,46 |
| | Neveras | 1 | 200 | 24 | 144 |
| | Computadoras | 3 | 200 | 8 | 144 |
| | Impresoras | 1 | 150 | 8 | 36 |
| Consumo total mensual de energía eléctrica | | | | | 4 520,13 |

$$\text{Costo de consumo por equipos de oficina} = 4\,520,13 \text{ kWh} * \frac{0,07 \text{ USD}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo de consumo por equipos de oficina} = 316,4 \text{ USD.}$$

Costo del consumo de energía eléctrica de máquinas herramientas.

$$\text{Consumo por máquinas herramientas} = 1 * 7\,450W * \frac{kW}{1\,000\,W} * \frac{5\,h}{1\,día} * 30\,días$$

$$\text{Consumo por máquinas herramientas} = 1\,117,5\,kWh$$

TABLA 4.36. RESULTADOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS EN CADA UNA DE LAS ÁREAS DE LA PLANTA.

| Oficina | Descripción | Cantidad | Potencia P_e (W) | Tiempo (h/día) | Consumo en el mes (kW-h) |
|---|--------------------------------------|----------|--------------------|----------------|--------------------------|
| Mantenimiento Mecánico | Compresor | 1 | 7 450 | 5 | 1 117,5 |
| | Fresadora | 1 | 1 490 | 1 | 44,7 |
| | Esmeril | 2 | 745 | 2 | 89,4 |
| | Soldadora | 1 | 22 500 | 0,5 | 337,5 |
| | Lamda | 1 | 1 490 | 2 | 89,4 |
| | Torno | 1 | 3 725 | 3 | 335,25 |
| | Taladros | 1 | 372,5 | 2 | 22,35 |
| Mantenimiento En línea | Soldadora de taller | 1 | 22 500 | 4 | 2700 |
| | Esmeril | 1 | 745 | 5 | 111,75 |
| | Horno para tratamiento de electrodos | 1 | 4 000 | 5 | 600 |
| | Taladros | 1 | 372,5 | 5 | 55,875 |
| Consumo total mensual de energía eléctrica. | | | | | 5 503,73 |

$$\text{Costo del consumo por máquinas herramientas} = 5\,503,73\,kWh * \frac{0,07\,USD}{kWh}$$

$$\text{Costo por consumo por máquinas herramientas} = 385,26\,USD.$$

Costo del consumo de energía eléctrica por iluminación.

$$\text{Consumo por iluminación} = 12 * 400W * \frac{kW}{1\ 000\ W} * \frac{12\ h}{1\ día} * 30\ días = 1\ 728\ kWh$$

TABLA 4.37. RESULTADOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA POR ILUMINACIÓN EN CADA UNA DE LAS ÁREAS DE LA PLANTA.

| Área de trabajo | N° de lámparas | | | | Potencia P_e (W) c/u | Tiempo Funcionamiento (h/día) | Consumo (kW-h) |
|---|-----------------|--------------|-----------|--------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| | Mercurio A.P | Fluocompacta | Fluoresc. | Sodio A.P | | | |
| Grupo de bombeo | 12 | | | | 400 | 12 | 1 728 |
| Dep. de operaciones | | | 28 | | 40 | 18 | 604,8 |
| Vivienda (bloque a) | | 20 | | | 20 | 6 | 72 |
| Vivienda(bloque b) | | 15 | | | 20 | 6 | 54 |
| Vivienda (bloque c) | | 20 | | | 20 | 6 | 72 |
| Vivienda(bloque d) | | 32 | | | 20 | 6 | 115,2 |
| Gimnasio | | | 30 | | 20 | 3 | 54 |
| Lavandería | | | 4 | | 20 | 4 | 9,6 |
| Área administrativa | | | 30 | | 20 | 10 | 180 |
| Taller mecánico y eléctrico | | | 40 | | 40 | 12 | 576 |
| Estacionamiento | | | 12 | | 20 | 10 | 72 |
| Laboratorio | | | 30 | | 30 | 3 | 81 |
| Oficinas de la terminal | | | 63 | | 20 | 3 | 113,4 |
| Terminal (bombeo) | 16 | | | | 400 | 3 | 576 |
| Área adm. (mnto.En línea) | | | 8 | | 40 | 8 | 76,8 |
| Galpón (mnto.En línea) | 6 | | | | 400 | 3 | 216 |
| Bodega (mnto. En línea) | | | 6 | | 40 | 8 | 57,6 |
| Galpón generador | | | | 30 | 480 | 12 | 5184 |
| Bodega General | | 20 | | | 40 | 8 | 192 |
| Viviendas sihama | | 40 | | | 40 | 6 | 288 |
| Postes de luz | | | | 30 | 400 | 12 | 4320 |
| Consumo total mensual de energía eléctrica. | | | | | | | 14 642,4 |

$$\text{Costo del consumo de energía eléctrica por iluminación} = 14\ 642,4\ kWh * \frac{0,07\ USD}{kWh}$$

$$\text{Costo por consumo de energía eléctrica por iluminación} = 1\ 024,97\ USD.$$

Costo del consumo de energía eléctrica de los actuadores.

Al costo además se añade los consumos debido a los actuadores que se hallan en la estación, en el anexo [3] se indican valores de potencias y otros detalles de estos equipos, el valor de la potencia entrada oscila entre un mismo valor para todos éstos.

$$\text{Consumo de energía en actuadores} = 40 * 1,19 \text{ kW} * \frac{0,5 \text{ h}}{1 \text{ día}} * 30 \text{ días} = 57,6 \text{ kWh}$$

TABLA 4.38. RESULTADOS DE COSTO DE ENERGÍA CONSUMIDA POR LOS ACTUADORES.

| Cantidad de actuadores | Potencia d P_e (KW) | Horas promedio por día | Consumo por mes (KW-h) |
|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| 40 | 1,19 | 0,5 | 715,2 |

$$\text{Costo del consumo por actuadores} = 715,2 \text{ kWh} * \frac{0,07 \text{ USD}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo del consumo por actuadores} = 50,1 \text{ USD.}$$

Costo del consumo de energía eléctrica de los motores eléctricos en el manifold de bombas.

Como se explicó en el capítulo III existe un manifold de bombas las cuales bombean el combustible para las comercializarlo para este sector, cada uno esta acoplada a su motor eléctrico los cuales consumen energía eléctrica, en consecuencia el consumo de estos motores será:

$$\text{Consumo manifold de bombas} = 4 * 37,25 \text{ kW} * \frac{6 \text{ h}}{1 \text{ día}} * 25 \text{ días} = 22 \text{ 350 kWh}$$

TABLA 4.39. RESULTADOS DE COSTO DE ENERGÍA CONSUMIDA POR LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE DEL MANIFOLD DE BOMBAS.

| Área | Descripción | Cantidad | Potencia d P_e (KW) | Horas promedio por día | Consumo por mes (KW-h) |
|----------|--------------------|----------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| Terminal | Bombas centrífugas | 4 | 37,25 | 6 | 22 350 |

$$\text{Costo del consumo en los motores electricos} = 22 \text{ 350 kWh} * \frac{0,07 \text{ USD}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo por consumo en los motores eléctricos} = 1 \text{ 564,5 USD.}$$

Costo del consumo de energía eléctrica del variador de frecuencia y el motor eléctrico ABB.

Según los registros que se hallan en los archivos del departamento de operaciones existe el número revoluciones promedio y los tiempos a los cuales trabaja este motor ABB en cada mes, conjuntamente se añade a esto los datos de la TABLA 4.6. , de esta manera se podrá hallar la energía consumida en el motor y a su vez en el variador de frecuencia ya que forma parte del sistema primario y éstos a su vez están en serie.

Como existe una relación directa entre el número de revoluciones y la potencia de entrada se procede a utilizar el método de interpolación para hallar el valor de esta potencia en función de la velocidad de giro promedio de cada mes. Todo lo anteriormente mencionado se lo demuestra de la siguiente manera:

De la ecuación (2.37) se despeja P_{eM} .

$$\eta = \frac{P_{sM}}{P_{eM}} \quad (2.37)$$

$$P_{eM} = \frac{P_{sM}}{\eta}$$

Como es de conocimiento que la potencia al freno en cualquier motor es:

$$P_{sM} = \tau * w$$

Y además el rendimiento η tiende a variar de forma mínima (esto ya demostrado en la TABLA 4.7.) se lo considera como un valor constante, de esta manera se dice que la potencia de entrada es directamente proporcional a la potencia de salida del motor eléctrico.

$$P_{eM} = \frac{\tau * w}{\eta}$$

En consecuencia se demuestra otra relación importante que la potencia de entrada P_{eM} es directamente proporcional a la velocidad de giro.

Una vez demostrado ésto se procede a interpolar para obtener la potencia de entrada en función de la velocidad de giro.

TABLA 4.40. DATOS DE NÚMERO DE REVOLUCIONES Y TIEMPOS PROMEDIOS DEL MOTOR ELÉCTRICO ABB.

| Meses | RPM | Tiempo promedio (h) |
|-----------|----------|---------------------|
| Diciembre | 3 182,16 | 20 |
| Enero | 3 204,00 | 22 |
| Febrero | 3 184,39 | 22 |
| Marzo | 3 201,73 | 22 |

Los datos de potencia de entrada según la TABLA 4.6 son los siguientes:

$$P_{e1} = 579,83 \text{ kW (TABLA 4.6.)}$$

$$P_{e2} = 1 950,51 \text{ kW (TABLA 4.6.)}$$

$$\text{Velocidad de giro}_1 = 2 520 \text{ rpm (TABLA 4.6.)}$$

$$\text{Velocidad de giro}_2 = 3 800 \text{ rpm (TABLA 4.6.)}$$

El primer cálculo de referencia será para el mes de diciembre.

$$\frac{P_{eM} - P_{e1}}{P_{e2} - P_{e1}} = \frac{\text{Velocidad de giro} - \text{Velocidad de giro}_1}{\text{Velocidad de giro}_2 - \text{Velocidad de giro}_1}$$

$$P_{SM} = \frac{(P_{e2} - P_{e1})(\text{Velocidad de giro} - \text{Velocidad de giro}_1)}{\text{Velocidad de giro}_2 - \text{Velocidad de giro}_1} + P_{e1}$$

$$P_{eM} = \frac{(1 950,51 - 579,83) \text{ kW} (3 182,16 - 2 520) \text{ rpm}}{(3 800 - 2 520) \text{ rpm}} + 579,83 \text{ kW}$$

$$P_{eM} = 1 288,5 \text{ kW}$$

Con la ecuación (2.51) se cuantifica el valor de potencia que ingresa al variador de frecuencia.

$$\eta_{VF} = \frac{P_{SVF}}{P_{eVF}} * 100 \% \quad (2.51)$$

Donde:

$$\eta_{VF} = 97 \%$$

$$P_{S_{VF}} = P_{eM} = 1\,288,5\text{ kW}$$

Se despeja la potencia de entrada $P_{e_{VF}}$:

$$P_{e_{VF}} = \frac{P_{S_{VF}}}{\eta_{VF}} * 100\%$$

$$P_{e_{VF}} = \frac{1\,288,5\text{ kW}}{97\%} * 100\%$$

$$P_{e_{VF}} = 1\,328,4\text{ kW}$$

$$\text{Consumo energía eléctrica en el motor ABB} = 1\,328,24\text{ kW} * \frac{20\text{ h}}{1\text{ día}} * 15\text{ días}$$

$$\text{Consumo energía eléctrica en el motor ABB} = 398\,505,2\text{ kWh}$$

$$\text{Costo del consumo en el motor eléctrico ABB} = 398\,505,2\text{ kWh} * \frac{0,07\text{ USD}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo por consumo en el motor eléctrico ABB} = 27\,895,4\text{ USD.}$$

TABLA 4.41. RESULTADOS DE LOS COSTOS POR CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y OTROS PARÁMETROS DEL MOTOR ELÉCTRICO ABB.

| Meses | Potencia de entrada(kW) P_{eM} | Potencia de salida(kW) $P_{e_{VF}}$ | Consumo por mes (kWh) | Costo por mes (USD) |
|-----------------|-------------------------------------|--|-----------------------|---------------------|
| Diciembre 2 010 | 1 288,50 | 1 328,4 | 398 505,2 | 27 895,4 |
| Enero 2 011 | 1 312,30 | 1 352,9 | 803 614,6 | 56 253,0 |
| Febrero 2 011 | 1 291,29 | 1 331,2 | 702 887,8 | 49 202,1 |
| Marzo 2 011 | 1 309,85 | 1 350,4 | 623 866,7 | 43 670,7 |

Costo del consumo de energía del sistema emergente.

Éste sistema necesita de otros motores para su normal funcionamiento, motivo por el cual se calcula la potencia de cada uno de los motores auxiliares. Y de forma seguida la energía que consumen al mes.

Motores de los ventiladores, los datos de potencia son tomados de la TABLA 4.18, son los siguientes:

$$\text{Ventilador 1} \quad P_{eM} = 14\,792 \text{ W}$$

$$\text{Ventilador 2} \quad P_{eM} = 15\,244 \text{ W}$$

$$\text{Tiempo de funcionamiento} \quad t = 336 \text{ h (TABLA 4.32)}$$

Ahora se calculará la energía que consumen, entonces:

$$E = P_{eM} * t$$

$$E = 14\,792 \text{ W} \left| \frac{1 \text{ kW}}{1\,000 \text{ W}} \right| * 336 \text{ h} = 4\,970,112 \text{ kWh}$$

$$E = 15\,244 \text{ W} \left| \frac{1 \text{ kW}}{1\,000 \text{ W}} \right| * 336 \text{ h} = 5\,121,984 \text{ kWh}$$

Motor de guarda flujo, el dato de potencia es calculado, entonces:

$$\text{Voltaje} \quad V = 480 \text{ V}$$

$$\text{Corriente} \quad I = 1,3 \text{ A}$$

$$\text{Tiempo de funcionamiento} \quad t = 336 \text{ h (TABLA 4.32)}$$

$$P_{eM} = \sqrt{3} V I \cos \varphi \quad (2.34)$$

$$P_{eM} = \sqrt{3} 480 \text{ V} 1,3 \text{ A} 0,85 = 918,67 \text{ W}$$

Ahora se calculará la energía que consumen, entonces:

$$E = P_{eM} t$$

$$E = 918,679 \text{ W} \left| \frac{1 \text{ kW}}{1\,000 \text{ W}} \right| * 336 \text{ h} = 308,67 \text{ kWh}$$

Motor de pre lubricación, la potencia se calcula, entonces:

$$\text{Voltaje} \quad V = 480 \text{ V}$$

$$\text{Corriente} \quad I = 2,85 \text{ A}$$

$$\text{Tiempo de funcionamiento} \quad t = 336 \text{ h (TABLA 4.32)}$$

$$Pe_M = \sqrt{3} V I \cos \varphi \quad (2.34)$$

$$Pe_M = \sqrt{3} 480 \text{ V} 2,85 \text{ A} 0,85 = 2 014,02 \text{ W}$$

Para determinar la energía, el tiempo de funcionamiento para este motor es de 5 min cada ½ hora.

$$E = Pe_M t$$

$$E_{eM} = 2 014,02 \text{ W} \left| \frac{1 \text{ kW}}{1 000 \text{ W}} \right| * 56 \text{ h} = 112,78 \text{ kWh}$$

Motor del multiplicador, el dato de potencia es calculado, entonces:

$$\text{Voltaje} \quad V = 480 \text{ V}$$

$$\text{Corriente} \quad I = 3,75 \text{ A}$$

$$\text{Tiempo de funcionamiento} \quad t = 336 \text{ h (TABLA 4.32)}$$

$$Pe_M = \sqrt{3} V I \cos \varphi \quad (2.34)$$

$$Pe_M = \sqrt{3} 480 \text{ V} 3,75 0,85 = 2 650,03 \text{ W}$$

Ahora se calculará la energía que consumen, entonces:

$$E = 2 650,03 \text{ W} \left| \frac{1 \text{ kW}}{1 000 \text{ W}} \right| * 336 \text{ h} = 890,41 \text{ kWh}$$

Se procede a sumar las energías para obtener el consumo mensual de los motores auxiliares. El sistema necesita de dos unidades de motores diesel, razón por la cual se suman dos veces, entonces:

$$E = E_{\text{ventiladores}} + 2 (E_{\text{guarda flujo}} + E_{\text{prelubricación}} + E_{\text{multiplicador}})$$

$$E = 4 970,11 \text{ kWh} + 5 121,98 \text{ kWh} + 2 (308,67 + 112,78 + 890,41) \text{ kWh}$$

$$E = 12 715,84 \text{ kWh}$$

Para el resto de meses el cálculo es el mismo solo varía el tiempo de funcionamiento, entonces se resumirá en la siguiente:

TABLA 4.42. RESUMEN DE LOS CONSUMOS DE ENERGÍA DEL SISTEMA EMERGENTE.

| Meses | Combustible m ³ | Energía kWh |
|-----------------|-------------------------------|----------------|
| Diciembre 2 010 | 85,71 | 12 715,84 |
| Enero 2 011 | 2,38 | 302,57 |
| Febrero 2 011 | 4,18 | 680,79 |
| Marzo 2 011 | 34,83 | 4 765,54 |

El análisis se lo hace para establecer el costo por barril bombeado, para esto se considera los datos de volumen consumido de combustible, energía de la TABLA 4.42. El costo del galón de diesel al precio de comercialización es de USD 1,02 y el costo por kWh es de 0,07 USD para este sector, entonces:

$$\text{Costo 1} = V \text{ precio del galón}$$

$$\text{Costo 1} = 85,71 \text{ m}^3 \left| \frac{1 \text{ gal}}{3,785 \times 10^{-3} \text{ m}^3} \right| * 1,02 \frac{\text{USD}}{\text{gal}} = 23 098,51 \text{ USD}$$

$$\text{Costo 2} = 12 715,84 \text{ kWh} \quad 0,07 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} = 890,10 \text{ USD}$$

Se tiene que el costo total es igual la suma del costo por combustible más el costo de la energía y entonces:

$$\text{Costo total} = \text{Costo 1} + \text{Costo 2}$$

$$\text{Costo total} = 23 098,51 \text{ USD} + 890,10 \text{ USD} = 23 988,62 \text{ USD}$$

Para los demás meses el procedimiento es el mismo por lo que se resume en la siguiente:

TABLA 4.43. Costos de producción por volumen bombeado.

| Meses | Costos | | |
|-----------------|-------------|---------|-----------|
| | Combustible | Energía | Total |
| | USD | | |
| Diciembre 2 010 | 23 098,51 | 890,11 | 23 988,62 |
| Enero 2 011 | 642,23 | 21,18 | 663,41 |
| Febrero 2 011 | 1 128,76 | 47,65 | 1 176,42 |
| Marzo 2 011 | 9 388,58 | 333,59 | 9 722,16 |

Costo total del consumo de energía de la estación.

Para el análisis económico de la estación se considera también otros costos que se representan como varios, la energía que se cuantifica corresponde a un mes y el costo es igual a USD 0,07 por kWh. Se resumen en la siguiente:

TABLA 4.44. COSTO POR MES DE LOS DEMÁS COMPONENTES DE LA ESTACIÓN.

| Varios | Energía kWh | Costo USD |
|-------------------------|-------------|-----------|
| Iluminación | 10 322,40 | 722,56 |
| Iluminación exter. | 4 320,00 | 302,40 |
| Aire acondicionado | 19 200,00 | 1 344,00 |
| Equipos de oficina | 4 520,13 | 316,40 |
| Lab. control calidad | 1 172,37 | 82,06 |
| Acctuadores | 715,20 | 50,06 |
| Maquinas y herramientas | 5 503,73 | 385,26 |
| Manifold de bombas | 22 350,00 | 1 564,50 |
| Trasformador T3 | 4 100,40 | 287,02 |
| Total | 72 204,23 | 5 054,29 |

Para conocer los indicadores de la estación se procederá a tomar los datos de costos de la TABLA 4.41, para el sistema primario, de la TABLA 4.43, para el sistema emergente y de la TABLA 4.44, para los costos varios.

A continuación se muestra la tabla para el resto de los meses.

TABLA 4.45. COSTO TOTAL DE ENERGÍA CONSUMIDA EN LA ESTACIÓN.

| Meses | Costos | | | |
|-----------------|---------------|----------------|----------|-----------|
| | Sis. primario | Sis. emergente | Varios | Total |
| | USD | | | |
| Diciembre 2 010 | 27 895,36 | 23 988,08 | 5 054,29 | 56 937,74 |
| Enero 2 011 | 56 253,02 | 663,41 | | 61 970,73 |
| Febrero 2 011 | 49 202,14 | 1 176,41 | | 55 432,86 |
| Marzo 2 011 | 43 670,66 | 9 722,16 | | 58 447,13 |

1.6. Indicadores de eficiencia energética.

1.6.1. Indicadores de consumo.

Sistema primario

Para el cálculo del indicador de consumo se relacionan los valores tanto de energía consumida y el valor de bombeo de combustible, ambos de forma mensual. Los análisis de estos índices se los hará para los meses de diciembre, enero, febrero, marzo. Como es de conocimiento este sistema está alimentado de energía eléctrica por lo tanto se debe hallar estos valores para dichos meses.

$$\text{indicador de consumo} = \frac{\text{energía eléctrica consumida en el mes}}{\text{Bombeo de combustible en el mes}}$$

Donde:

Bombeo de combustible en el mes de diciembre = 782 490 barriles. (TABLA 4.27)

Bombeo de combustible en el mes de enero =1 499 229 barriles. (TABLA 4.27)

Bombeo de combustible en el mes de febrero =1 333 994 barriles. (TABLA 4.27)

Bombeo de combustible en el mes de marzo=1 144 112 barriles. (TABLA 4.27)

Energía eléctrica consumida en el mes de diciembre = 398505,2 kWh. (TABLA 4.41)

$$\text{indicador de consumo} = \frac{398505,2 \text{ kWh}}{782490 \text{ barriles}}$$

$$\text{indicador de consumo} = 0,509 \text{ kW/barriles}$$

Para los siguientes meses se hace el mismo proceso de cálculo y los resultados se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 4.46. RESULTADOS DE LOS INDICADORES DE CONSUMO DEL MOTOR ELÉCTRICO ABB.

| Meses | Consumo por mes (KWh) | Bombeo (barriles) | Índice kWh/barril |
|-----------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Diciembre 2 010 | 398 505,2 | 782 490 | 0,509 |
| Enero 2 011 | 803 614,6 | 1 499 229 | 0,536 |
| Febrero 2 011 | 702 887,8 | 1 333 994 | 0,527 |
| Marzo 2 011 | 623 866,7 | 1 144 112 | 0,545 |

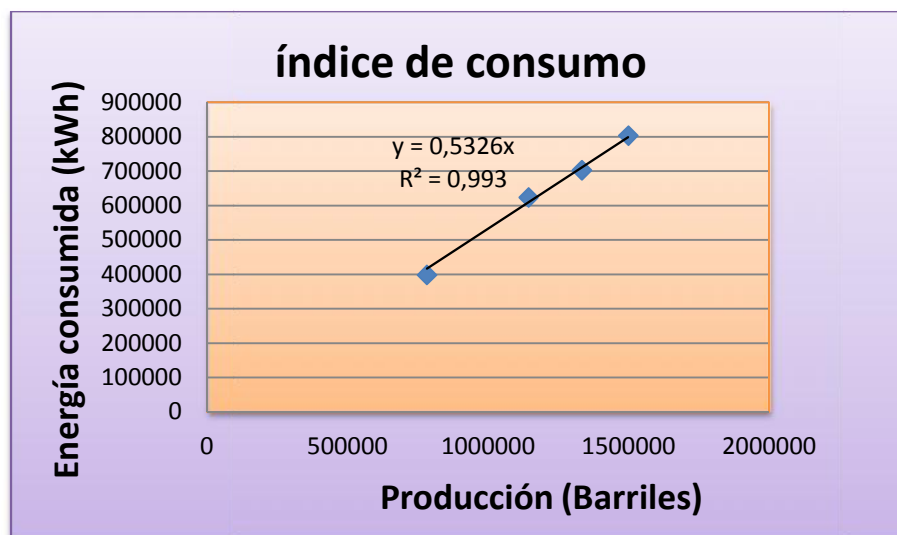


Figura 4.17. Representación gráfica del índice de consumo en el sistema.

$R^2 = 0,993 > 0,75$; el indicador kWh/barriles es válido para evaluar el desempeño energético.

Sistema emergente.

La forma de energía que consume principalmente es el combustible en los motores de combustión interna, entonces:

$$V = 0,2551 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ (TABLA 4.32)}$$

$$t = 336 \text{ h} \text{ (TABLA 4.32)}$$

$$Q_c = V \cdot H_i$$

$$Q_c = 0,2551 \frac{m^3}{h} \cdot 843,94 \frac{kg}{m^3} \cdot 43\,961,4 \frac{kJ}{kg} \left| \frac{1 h}{3\,600 s} \right|$$

$$Q_c = 2\,629,002 \text{ kW}$$

$$E = Q_c \cdot t$$

$$E = 2\,629,00 \text{ kW} \cdot 336 \text{ h}$$

$$E = 883\,344,93 \text{ kWh}$$

Para proceder a determinar el índice de consumo, que es la relación entre la energía total consumida y la producción.

Producción = 650 952 barriles (TABLA 4.32)

$$i = \frac{E_T}{\text{Producción}}$$

$$i = \frac{883\,344,93 \text{ kWh}}{650\,952 \text{ barriles}}$$

$$i = 1,36 \frac{\text{kWh}}{\text{barriles}}$$

El procedimiento para el resto de meses es el mismo, se resume en la siguiente tabla.

TABLA 4.47. ÍNDICE DE CONSUMO EN EL SISTEMA EMERGENTE.

| Meses | Equivalencia del combustible en kWh | Producción (barriles) | Índice kWh/barriles |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Diciembre 2 010 | 883 344,931 | 650 952 | 1,36 |
| Enero 2 011 | 24 560,719 | 10 459 | 2,34 |
| Febrero 2 011 | 43 166,762 | 38 185 | 1,13 |
| Marzo 2 011 | 359 042,836 | 348 669 | 1,03 |

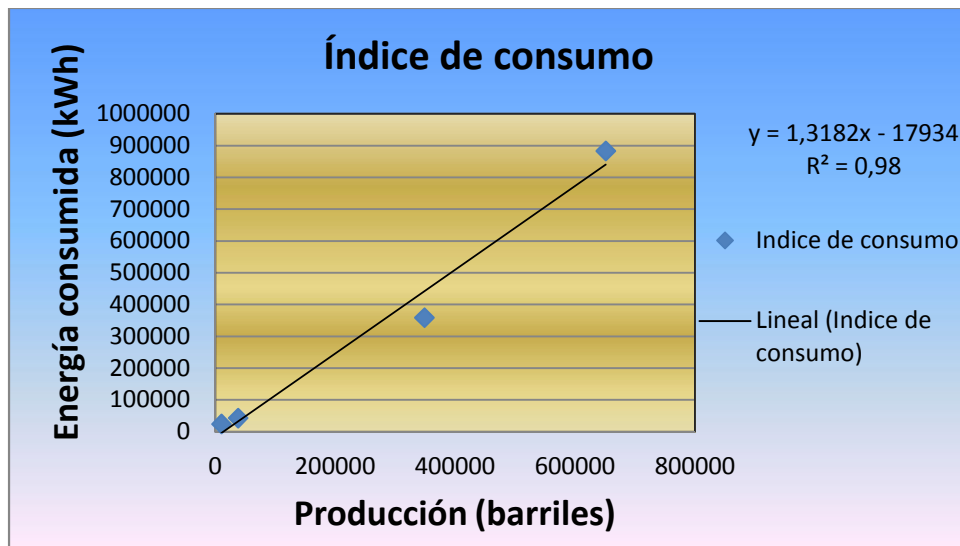


Figura 4.18. Representación grafica del índice de consumo para el sistema emergente.

1.6.2. Índice económico energéticos.

Sistema primario

El indicador económico energético se determina relacionando los valores tanto del costo de energía consumida y el valor de bombeo de combustible, estos cálculos se los realizará para los meses ya mencionados en el análisis de los índices de consumo.

$$\text{índice económico energético} = \frac{\text{costo de energía eléctrica consumida en el mes}}{\text{bombeo de combustible en el mes}}$$

Donde:

Bombeo de combustible mes de diciembre = 782 490 barriles. (TABLA 4.27)

Costo de energía eléctrica consumida en el mes = 27 895,4 USD (TABLA 4.41)

$$\text{índice económico energético} = \frac{27\,895,4 \text{ USD}}{782\,490 \text{ barriles}}$$

$$\text{índice económico energético} = 0,0356 \text{ USD/barril}$$

Para los siguientes meses se hace el mismo proceso de cálculo y los resultados se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 4.48. RESULTADOS DE LOS ÍNDICES ENERGÉTICOS DEL SISTEMA PRIMARIO.

| Meses | Costo por mes (USD) | Bombeo (barriles) | Índice USD/barril |
|-----------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| Diciembre 2 010 | 27 895,4 | 782 490 | 0,0356 |
| Enero 2 011 | 56 253,0 | 1 499 229 | 0,0375 |
| Febrero 2 011 | 49 202,1 | 1 333 994 | 0,0369 |
| Marzo 2 011 | 43 670,7 | 1 144 112 | 0,0382 |

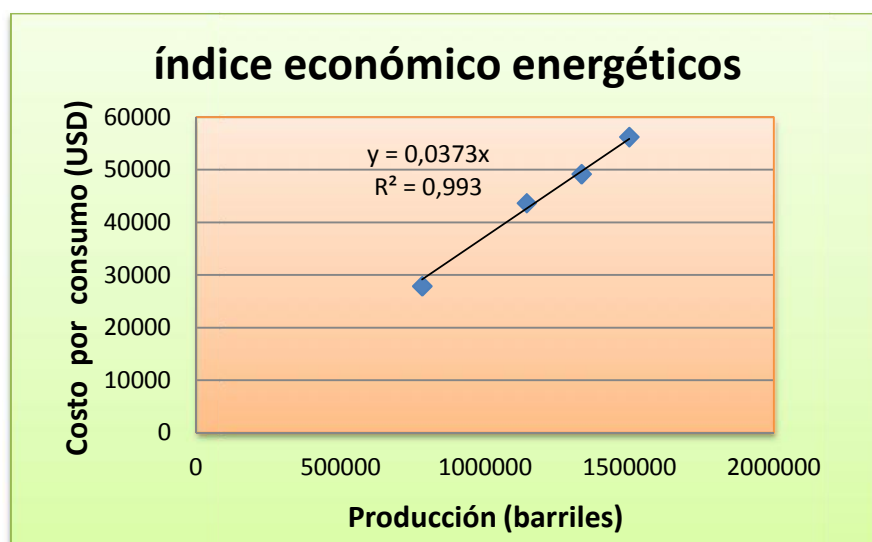


Figura 4.19. Representación gráfica del índice económico energético en el sistema primario.

Sistema emergente.

El indicador económico energético es la relación entre el costo total y los barriles bombeados, entonces:

Costo = 23 098,51 USD. (TABLA 4.43)

Producción = 650 952 barriles. (TABLA 4.32)

Los datos mostrados corresponden al mes de diciembre 2 010.

$$\text{Índice económico energético} = \frac{23\,098,51 \text{ USD}}{650\,952 \text{ barriles}} = 0,035 \frac{\text{USD}}{\text{barriles}}$$

Para los demás meses de análisis el procedimiento es el mismo por lo que se resume en la siguiente:

TABLA 4.49. ÍNDICE ECONÓMICO ENERGÉTICO.

| Meses | Costos | Producción | Indicador |
|-----------------|-----------|-----------------|--------------|
| | Total USD | Bombeo Barriles | USD/barriles |
| Diciembre 2 010 | 23 098,51 | 650 952 | 0,035 |
| Enero 2 011 | 642,23 | 10 459 | 0,061 |
| Febrero 2 011 | 1 128,76 | 38 185 | 0,029 |
| Marzo 2 011 | 9 388,58 | 348 669 | 0,027 |

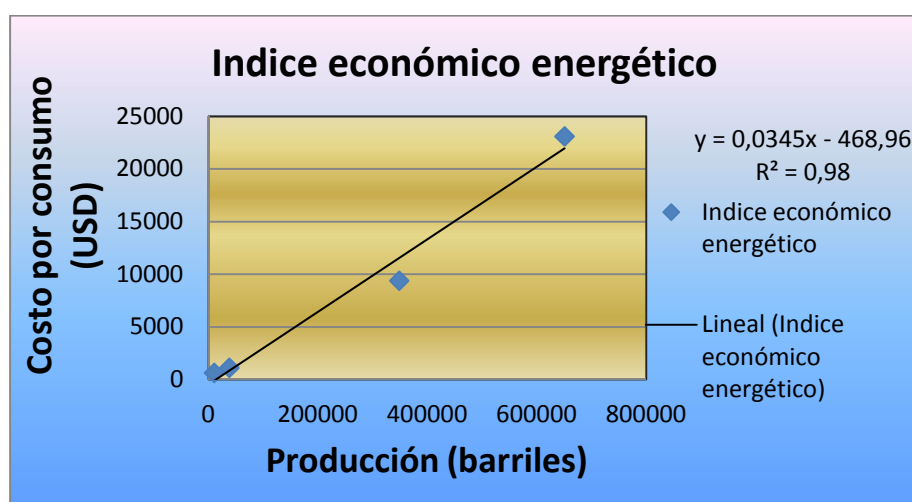


Figura 4.20. Representación gráfica del índice económico energético en el sistema secundario.

Estación.

El indicador económico energético de la estación, es la relación entre el costo total y los barriles totales bombeados, entonces:

$$\text{Costo sis. primario} = 27\,895,36 \text{ USD} \quad (\text{TABLA 4.45})$$

$$\text{Costo sis. emergente} = 23\,988,08 \text{ USD} \quad (\text{TABLA 4.45})$$

$$\text{Costo varios} = 5\,054,29 \text{ USD} \quad (\text{TABLA 4.45})$$

Se suman los tres costos para tener el costo total de la estación, entonces:

$$\text{Costo total} = 27\,895,36 \text{ USD} + 23\,988,08 \text{ USD} + 5\,054,29 \text{ USD}$$

$$\text{Costo total} = 56\,937,74 \text{ USD}$$

Los datos mostrados corresponden al mes de diciembre 2 010.

Producción = 1 433 442 barriles. (TABLA 4.45)

$$\text{Indice económico energético} = \frac{56\,937,74 \text{ USD}}{1\,433\,442 \text{ barriles}} = 0,039 \frac{\text{USD}}{\text{barriles}}$$

Para los demás meses de análisis el procedimiento es el mismo por lo que se resume en la siguiente:

TABLA 4.50. RESULTADOS DE LOS ÍNDICES ECONÓMICO ENERGÉTICO DE LA ESTACIÓN.

| Meses | Costos | Producción | Indicador |
|-----------------|-----------|-----------------|--------------|
| | Total USD | Bombeo Barriles | USD/barriles |
| Diciembre 2 010 | 56 938,28 | 1 433 442 | 0,039 |
| Enero 2 011 | 61 970,73 | 1 509 688 | 0,041 |
| Febrero 2 011 | 55 432,86 | 1 372 179 | 0,040 |
| Marzo 2 011 | 58 447,13 | 1 492 781 | 0,039 |

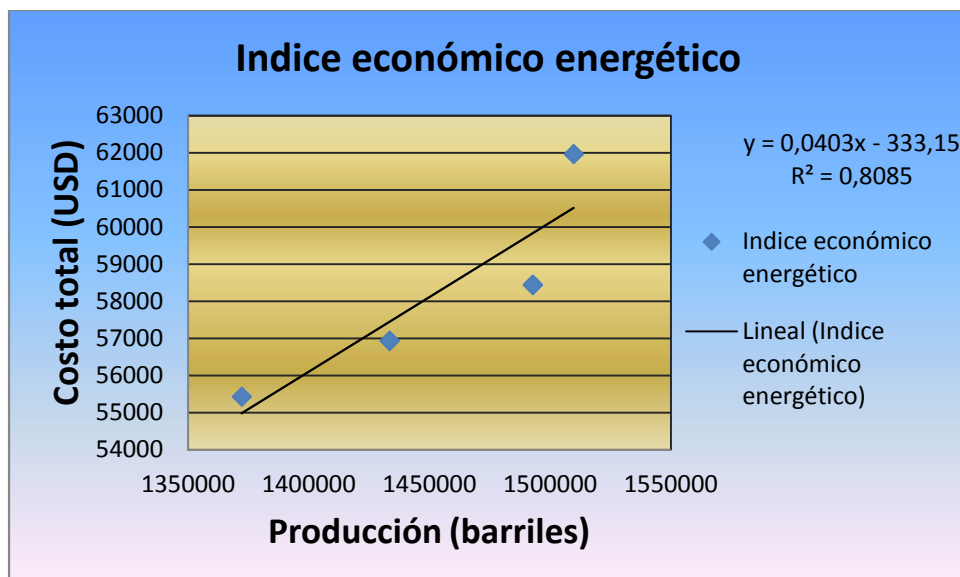


Figura 4.21. Representación gráfica del índice económico energético de la estación.

1.7. Cuantificación de los gases contaminantes en los motores de combustión interna.

La cuantificación de los gases se la hace de acuerdo a los informes presentados por las empresas **ABRUS** encargada de cuantificar los niveles de CO, NO, NO₂, SO₂ y el material particulado. En el laboratorio **HAVOC** lo referente a los niveles de HAPs y VOCs.

TABLA 4.51. RESUMEN DE LOS GASES EFECTO DE LA COMBUSTIÓN.

| Código | Gases de la Combustión | | | | | | |
|--------|------------------------|-------|-----------------|-----------------|-------------------|----------|----------------------|
| | CO | NO | NO ₂ | SO ₂ | HAPs | VOCs | Material Particulado |
| | Ppm | | | | mg/m ³ | | |
| P 201 | 484 | 1 332 | 45,2 | <11 | 0,0033 | < 0,0001 | 22,8 |
| P 202 | 1 378 | 729 | 10,7 | 11 | 0,0505 | 0,1686 | 29,0 |
| P 203 | 148 | 885 | 15,9 | 12 | 0,0138 | <0,0001 | 25,6 |

Ver resultados de los gases de efecto de la combustión en el **Anexo [1]**.

Los valores máximos permisibles de emisiones a la atmósfera para los diferentes tipos de fuentes de combustión, en función de los tipos de combustible utilizados y de la cantidad de oxígeno de referencia a condiciones normales de presión y

temperatura en base seca, establecidos por el Ministerio de Energía en el Acuerdo No. 091 del 04 de Enero de 2007.

TABLA 4.52. LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA EMISIONES DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA. [57]

| Contaminante (mg / Nm ³) ^a | Tipo de combustible | | |
|--|---------------------|--------|----------------|
| | GLP o gas | Diesel | Bunker o crudo |
| Material particulado(MP) | N.A | 100 | 150 |
| Óxidos de Carbono (CO) | N.A | 1500 | 150 |
| Óxidos de Nitrógeno (NOx) | 1400 | 2000 | 2000 |
| Óxidos de Azufre (SO ₂) | 30 | 700 | 1500 |
| HAP's | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| COV's | 5 | 10 | 10 |

1.7.1. Cálculo de emisiones en máquinas y equipos de la instalación.

Según investigaciones realizadas por la International Energy Agency (IEA) la energía consumida mediante la utilización de combustible o de fuentes eléctricas se las puede representar en función de emisiones CO₂ mediante un factor llamado Indicador de las intensidades de CO₂, es que depende de algunos parámetros como por ejemplo el país, el sector (plantas térmicas, estaciones de bombeo, medios de transporte), del tipo de combustible y de la fuente que produce la energía.

Este factor es un valor aproximado basado en estudios que se han realizado durante algunos años (1971-2008) por parte de la IEA, para aportar con un programa de cooperación para el uso racional de la energía que se consume en el mundo entero.

Indicador de las intensidades de CO₂

El Indicador de las intensidades de CO₂ mide las emisiones por unidad de energía generada (Kg CO₂/Kwh) y da una idea del grado de limpieza de las tecnologías usadas.

Este dato es de suma importancia porque está relacionado con el impacto ambiental provocado por las emisiones de CO₂:

Se cita algunos factores de suma importancia para cálculos posteriores considerando dos particularidades: [58]

a) Emisiones de CO₂ producidos por energía eléctrica.

$$\text{Indicador de las intensidades de CO}_2 = IICO_2 = 261,971 \frac{gCO_2}{kWh}$$

b) Emisiones de CO₂ producidos por combustible.

Combustible = diesel 2.

$$\text{Indicador de las intensidades de CO}_2 = IICO_2 = 2,64 \frac{kgCO_2}{lt}$$

Emisiones de gases efecto invernadero.

Conocidos los consumos de energía en los diferentes sistemas y de los varios. Se procederá a cuantificar los GEI, de la siguiente manera:

Para el sistema primario se toma el valor de la energía consumida por el motor ABB de la TABLA 4.41. Se lo multiplica por un factor igual a $261,971 \frac{gCO_2}{kWh}$ y se realiza las transformaciones necesaria para llegar a la tonelada de CO₂ entonces:

$$\begin{aligned} IICO_2 &= E \cdot 261,97 \frac{g CO_2}{kWh} \\ IICO_2 &= 398\,505,2 kWh \cdot 261,97 \frac{g CO_2}{kWh} \left| \frac{1 ton}{1\,000\,000 g} \right| \\ IICO_2 &= 104,39 \text{ tonelada metrica CO}_2 \end{aligned}$$

Ahora para el sistema emergente se debe considerar el consumo del combustible de la TABLA 4.42, el factor de cálculo es igual a $2,64 \frac{kg CO_2}{l}$ considerar las respectivas transformaciones, entonces se tiene que:

$$\begin{aligned} IICO_2 &= V \cdot 2,64 \frac{kg CO_2}{l} \\ IICO_2 &= 85,71 m^3 \left| \frac{1\,000 l}{1m^3} \right| * 2,64 \frac{kg CO_2}{l} \left| \frac{1 ton}{1\,000 kg} \right| \\ IICO_2 &= 226,28 \text{ tonelada metrica CO}_2 \end{aligned}$$

También existen motores eléctricos auxiliares cuya energía está en la TABLA 4.42 y se procede de la misma forma que el sistema primario, entonces:

$$IICCO_2 = E \cdot 261,971 \frac{g CO_2}{kWh}$$

$$IICCO_2 = 12\,715,84 kWh \cdot 261,971 \frac{g CO_2}{kWh} \left| \frac{1 ton}{1\,000\,000 g} \right|$$

$$IICCO_2 = 3,33 \text{ tonelada metrica } CO_2$$

La tonelada métrica de CO_2 del sistema emergente es igual a la suma de los dos anteriores,

$$IICCO_2 = 226,38 \text{ tonelada metrica } CO_2 + 3,33 \text{ tonelada metrica } CO_2$$

$$IICCO_2 = 229,62 \text{ tonelada metrica } CO_2$$

Por último el cálculo de los varios para este de toma los datos de la TABLA 4.44., es un solo cálculo para el mes entonces se tiene que:

$$IICCO_2 = E \cdot 261,97 \frac{g CO_2}{kWh}$$

$$IICCO_2 = 72\,204,84 kWh \cdot 261,97 \frac{g CO_2}{kWh} \left| \frac{1 ton}{1\,000\,000 g} \right|$$

$$IICCO_2 = 18,91 \text{ tonelada metrica } CO_2$$

Para saber las toneladas métricas correspondiente al mes de diciembre se procede a realizar la sumatoria de los tres y es igual a:

$$IICCO_2 = (104,39 + 229,61 + 18,91) \text{ tonelada metrica } CO_2$$

$$IICCO_2 = 352,93 \text{ tonelada metrica } CO_2$$

El cálculo para el resto de meses es igual por esta razón se resume en la siguiente:

TABLA 4.53. RESULTADOS DE LAS EMISIONES DE CO_2 EN LA ESTACIÓN.

| Meses | Gases de efecto invernadero | | | |
|-----------------|------------------------------|----------------|--------|---------|
| | Sis. primario | Sis. emergente | Varios | Total |
| | Toneladas métricas de CO_2 | | | |
| Diciembre 2 010 | 104,396 | 229,6150 | | 352,926 |
| Enero 2 011 | 210,523 | 6,3700 | 18,915 | 235,808 |
| Febrero 2 011 | 184,136 | 11,2360 | | 214,287 |
| Marzo 2 011 | 163,434 | 93,2230 | | 275,572 |

4.8. Alternativas para el ahorro de energía.

El tratamiento de las soluciones posibles encontradas a los problemas energéticos que incrementan el consumo energético de equipos, áreas o procesos en la empresa es importante para incrementar la efectividad y alcanzar el mayor impacto posible de las tareas que decidan enfrentarse.

Clasificación de las soluciones.

Es conveniente conocer que en dependencia de la inversión requerida para su ejecución las soluciones a los problemas de altos consumos de energéticos éstas se clasifican en de baja inversión y alta inversión. Constituyen de baja inversión: la concientización y motivación del personal, la formación y entrenamiento del personal, los dispositivos de ahorro y los instrumentos de control, el mantenimiento energético, los cambios de modos de operación, las mejoras en el control, los ajustes y regulaciones, la automatización y optimización de parámetros de operación. Requieren de inversiones significativas o altas: los cambios en procesos productivos, cambios de equipamientos o sistemas complejos, recuperación de energías residuales, mejoras de los sistemas de combustión, sustitución de aislamientos térmicos, cambios en sistemas de goberna, automatización de procesos, innovaciones tecnológicas importantes y la optimización e integración de procesos. [59]

Para el procesamiento de las soluciones o alternativas fue necesario identificar y analizar cada una de las áreas de donde se pueden obtener potenciales de ahorro de energía, teniendo como resultados de la investigación los equipos de oficina e iluminación y equipos de aire acondicionado. Para los dos primeros casos la alternativa o solución de baja inversión será muy útil, ya que se obtendrá una reducción de costos y emisiones de CO₂ al ambiente por consumo energético, y por lo tanto un ahorro de energía utilizando como método base la concientización del personal. Mientras que para los equipos de aire acondicionado se ha considerado una solución de media inversión, a las demás áreas de igual forma se la investigó pero se encontró que ya todo está muy definido en cuanto a su forma y tiempo utilización por lo tanto no se los consideró para realizar un estudio de ahorro.

De esta manera se darán las medidas apropiadas de ahorro mediante la siguiente evaluación en función de costos y de tonelada métrica de CO₂ por cada kW que se envía al ambiente.

Criterios de concientización.

Uno de los criterios de concientización será el disminuir el número de horas de encendido de las lámparas instaladas en cada una de las áreas de la planta, es decir solo utilizar donde realmente haya la ausencia de luminosidad para realizar una actividad específica. En la TABLA 4.49., se muestran los datos de los tiempos de funcionamiento de cada una de las lámparas incluida la reducción de número de horas de encendido. En el caso de los equipos de oficina de igual forma se los mantendrá encendidos siempre y cuando haya la necesidad de utilizarlos caso contrario se los deberá apagar. En la TABLA 4.54., se mostrarán los consumos con respecto a la disminución de horas de utilización.

A continuación se calculará el nuevo consumo energético y su costo para verificar que resultados positivos se obtendrán con el uso racional de la luz eléctrica.

Costo del consumo de energía eléctrica por iluminación.

$$\text{Consumo mensual por iluminación} = 12 \cdot 400W \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1000W} \cdot \frac{12h}{1 \text{ día}} \cdot 30 \text{ días}$$

$$\text{Consumo mensual por iluminación} = 1728 \text{ kWh}$$

TABLA 4.54. RESULTADOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA POR ILUMINACIÓN EN CADA UNA DE LAS ÁREAS DE LA PLANTA CONSIDERÁNDOSE EL USO RACIONAL.

| Área de trabajo | N° de lámparas | | | | Potencia P_e (W) c/u | Tiempo* Funcionamiento (h/día) | Consumo (kWh) |
|---|-----------------|--------------|---------------|--------------|---------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| | Mercurio A.P | Fluocompacta | Fluorescentes | Sodio A.P | | | |
| Grupo de bombeo | 12 | | | | 400 | 12 | 1728 |
| Dep. de operaciones | | | 28 | | 40 | 12 | 403,2 |
| Vivienda (bloque a) | | 20 | | | 20 | 5 | 60 |
| Vivienda(bloque b) | | 15 | | | 20 | 5 | 45 |
| Vivienda (bloque c) | | 20 | | | 20 | 5 | 60 |
| Vivienda(bloque d) | | 32 | | | 20 | 5 | 288 |
| Gimnasio | | | 30 | | 20 | 3 | 54 |
| Lavandería | | | 4 | | 20 | 4 | 9,6 |
| Área administrativa | | | 30 | | 20 | 4 | 72 |
| Taller mecánico y eléctrico | | | 40 | | 40 | 5 | 240 |
| Estacionamiento | | | 12 | | 20 | 4 | 28,8 |
| Laboratorio | | | 30 | | 30 | 3 | 81 |
| Oficinas de la terminal | | | 63 | | 20 | 3 | 113,4 |
| Terminal (bombeo) | 16 | | | | 400 | 3 | 576 |
| Área adm. (mnto. En línea) | | | 8 | | 40 | 4 | 38,4 |
| Galpón (mnto. En línea) | 6 | | | | 400 | 3 | 216 |
| Bodega (mnto. En línea) | | | 6 | | 40 | 4 | 28,8 |
| Galpón generador | | | | 30 | 480 | 12 | 5184 |
| Bodega General | | 20 | | | 40 | 4 | 96 |
| Viviendas sihama | | 40 | | | 40 | 6 | 288 |
| Postes de luz | | | | 30 | 400 | 12 | 4320 |
| Consumo total mensual de energía eléctrica. | | | | | | | 13 930,2 |

$$\text{Consumo mensual por iluminación} = 13\,930,2 \text{ kWh}$$

$$\text{Costo mensual de energía eléctrica por iluminación} = 13\,930,2 \text{ kWh} \cdot \frac{0,07 \text{ USD}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo mensual de energía eléctrica por iluminación} = 975,11 \text{ USD.}$$

*Este tiempo se sugiere ser utilizado para que permanezcan encendidas las lámparas a fin de disminuir el consumo.

Costo del consumo de energía eléctrica de los equipos de oficina.

$$\text{Consumo por equipos de oficina} = 2 \cdot 200W \cdot \frac{kW}{1000W} \cdot \frac{24h}{1 \text{ día}} \cdot 30 \text{ días}$$

$$\text{Consumo por iluminación} = 288 \text{ kWh.}$$

TABLA 4.55. RESULTADOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA DE LOS EQUIPOS DE OFICINA EN CADA UNA DE LAS ÁREAS DE LA PLANTA.

| Oficina | Descripción | Cantidad | Potencia P_e (W) | Tiempo* (h/día) | Consumo en el mes (kWh) |
|---|----------------|----------|--------------------------|--------------------|-------------------------------|
| Operaciones | Refrigeradora | 2 | 200 | 24 | 288 |
| | Grabadora | 2 | 40 | 5 | 12 |
| | Televisión | 2 | 141 | 24 | 203,04 |
| | Computadoras | 7 | 100 | 24 | 504 |
| Intendencia | Refrigeradora | 2 | 200 | 24 | 288 |
| | Copiadoras | 2 | 800 | 8 | 240 |
| | Televisión | 1 | 141 | 1 | 4,23 |
| | Computadoras | 4 | 200 | 8 | 192 |
| | Impresora | 4 | 150 | 8 | 36 |
| Mantenimiento mecánico | Refrigeradora | 1 | 290 | 24 | 208,8 |
| | Computadoras | 2 | 100 | 20 | 48 |
| | Impresoras | 1 | 150 | 8 | 9 |
| | Grabadora | 1 | 40 | 20 | 9,6 |
| Mantenimiento eléctrico | Refrigeradora | 1 | 290 | 24 | 208,8 |
| | Computadoras | 2 | 200 | 12 | 96 |
| | Impresoras | 1 | 150 | 12 | 9 |
| | Grabadora | 1 | 40 | 8 | 9,6 |
| Bodega | Refrigeradora | 1 | 300 | 24 | 216 |
| | Computadoras | 2 | 200 | 8 | 96 |
| | Impresoras | 2 | 150 | 8 | 18 |
| | Grabadora | 1 | 40 | 8 | 9,6 |
| Terminal | Refrigeradoras | 2 | 290 | 24 | 417,6 |
| | Computadoras | 10 | 200 | 8 | 480 |
| | Impresoras | 2 | 150 | 8 | 18 |
| | Televisiones | 1 | 141 | 2 | 8,46 |
| Mantenimiento en línea | Neveras | 1 | 200 | 24 | 144 |
| | Computadoras | 3 | 200 | 8 | 144 |
| | Impresoras | 1 | 150 | 8 | 9 |
| Consumo total mensual de energía eléctrica | | | | | 3 926,73 |

*Este tiempo se sugiere ser utilizado para que permanezcan encendidos los equipos con el fin de disminuir el consumo.

$$\text{Costo de consumo por equipos de oficina} = 3\,926,73 \text{ kWh} \frac{0,07 \text{ USD}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo de consumo por equipos de oficina} = 274,87 \text{ USD.}$$

En emisiones de CO₂ producidos por energía eléctrica consumida por iluminación será:

$$\text{Indicador de las intensidades de CO}_2 = IICO_2 = 261,971 \frac{gCO_2}{kWh}$$

Energía consumida por iluminación=14 462,4 kWh (antes del ahorro).

$$IICO_2 = 14\,462,4 \text{ kWh} \cdot 261,971 \frac{g CO_2}{kWh} \left| \frac{1 \text{ ton}}{1\,000\,000 \text{ g}} \right|$$

$$IICO_2 = 3,78 \text{ tonelada métrica CO}_2$$

Los resultados en cada una de los nuevos valores de costos por equipos de oficina de iluminación muestran.

TABLA 4.56. RESULTADOS COMPARATIVOS ANTES Y DESPUÉS DEL AHORRO ENERGÉTICO.

| Artículos | Valores antes del ahorro | | | Valores después del ahorro | | |
|--------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| | Consumo por mes (KW-h) | Costo por mes (USD) | Tonelada métrica de CO ₂ | Consumo por mes (KW-h) | Costo por mes (USD) | Tonelada métrica de CO ₂ |
| Iluminación | 14 462,40 | 1 024,97 | 3,78 | 13 930,2 | 975,11 | 3,65 |
| Equipos de oficina | 4 520,13 | 316,46 | 1,18 | 3 976,23 | 274,87 | 1,03 |

Los resultados de la tabla anterior indican que mediante una concientización en el personal para el uso racional de la energía logra conseguir reducciones en la energía consumida, y en emisiones de CO₂ de esta manera contribuyendo al ambiente.

Ahorros energéticos en equipos de aire acondicionado.

Para una habitación del bloque A cuyas dimensiones son: 5 x 4 x 3 metros de largo, ancho y alto respectivamente. Según el software BTU CALCULATOR [61] la carga térmica para esta habitación es de 9 634 BTU/h. Para esta condición se procede a diseñar un nuevo sistema de aire acondicionado, seleccionando nuevos equipos centralizados Multi Split Inverter MPS con las siguientes características:

room/house width: 4 meters
 room/house length: 5 meters
 ceiling height: 3 meters
 insulation condition: good (very few leakages or windows)
 temperature to increase or decrease: 28 Celsius

You will need **9634** BTU/hour or **2823** watt.

Depending on your local winter/summer temperature, e.g. 75F for Boston winter, 35F for Atlanta winter.

Calculate

Figura 4.22. Simulación mediante el software BTU Calculator.

TABLA 4.57. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO.

| | Sistema A | Sistema B |
|--|---------------------------------------|-----------|
| Unidad exterior | L6UC502FA0 | |
| Capacidad (BTU/h) | 50 000 | |
| Refrigerante | R22 | |
| Tubería principal hasta el distribuidor (max. 25 m) (m). | liquido 3/8" gas 3/4" AWG16X4 | |
| | 8 | 1 |
| Distribuidor | PMBD5440L | |
| Capacidad (BTU/h) | 12 000 – 96 000 | |
| Potencia (W) | 10 | |
| Tubería de distribución del distribuidor hasta la unidad interna (max. 50) | liquido 1/4" gas 1/2" AWG 16X4 | |
| L1 | 6,20 | 2,80 |
| L2 | 2,90 | 8,50 |
| L3 | 2,70 | 12,30 |
| L4 | 10,00 | 9,30 |
| L5 | 14,60 | 6,10 |
| Total líneas (m) | 36,40 | 39,00 |
| Unidad interior | LMNC122LR40 | |
| Capacidad (BTU/h) | 12000 | |
| Potencia (W) | 37 | |
| Combinaciones | 5 | 5 |
| Capacidad térmica (Btu/h) | 9 550 | 9 550 |
| EER (Btu/h W) | 10,6 | 10,6 |
| Potencia eléctrica (W) | 4 500 | 4 500 |

Mas detalles de las características del equipo se aire acondicionado **Anexo [9]**.

El nuevo sistema que se implantaría ahorra un 35% (detalles en el **Anexo [9]**) de la potencia nominal (4500W). Entonces se tiene que la potencia consumida por el sistema A es:

$$\text{Potencia de la unidad externa} = 0,35 \cdot 4\,500\,W = 1\,575\,W$$

$$\text{Potencia del distribuidor} = 10\,W$$

$$\text{Potencia de la unidad interna} = 37\,W$$

Tomar en cuenta que la potencia total de las unidades internas está en relación al número de combinaciones es así que:

$$\text{Potencia total de las unidades internas} = 5 \cdot 37\,W = 185\,W$$

$$\text{Potencia total} = (4\,500 - 1\,575)\,W + 10\,W + 185\,W$$

$$\text{Potencia total} = 3\,120\,W$$

Se estima que el número de horas promedio que están en funcionamiento estos equipos es de 8 horas al día, por lo que el costo por consumo de energía eléctrica será:

$$\text{Consumo de energía eléctrica mensual} = 3\,120\,W \cdot \frac{1\,kW}{1\,000\,W} \cdot 8h \cdot 30\text{días}$$

$$\text{Consumo de energía eléctrica mensual} = 748,8\,kWh$$

$$\text{Costo por consumo de energía eléctrica mensual} = 748,8\,kWh \cdot 0,07 \frac{USD}{kWh}$$

$$\text{Costo por consumo de energía eléctrica mensual} = 52,41\,USD$$

Según el diseño del sistema de aire acondicionado para las habitaciones del bloque A se necesitará dos unidades centralizadas de las mismas características por tal motivo se suma el consumo de estos dos equipos para tener el total tanto de energía consumida, costo mensual y anual de ambos sistemas, obteniendo lo siguiente:

TABLA 4.58. RESULTADOS DEL NUEVO SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO BLOQUE A.

| Parámetros | Sistema A | Sistema B |
|----------------------------------|-----------|-----------|
| Consumo de energía mensual (kWh) | 748,8 | 748,8 |
| Costo (USD/mes) | 52,41 | 52,41 |
| Costo total mensual (USD) | 104,82 | |
| Costo total anual (USD) | 1 257,84 | |

Cuantificación de las emisiones de CO₂ se tiene que:

$$IIC_{CO_2} = 1\,497,6 \text{ kWh} \cdot 261,971 \frac{\text{g } CO_2}{\text{kWh}} \left| \frac{1 \text{ ton}}{1\,000\,000 \text{ g}} \right|$$

$$IIC_{CO_2} = 0,392 \text{ tonelada metrica } CO_2.$$

El bloque A actualmente está formado de 9 equipos de ventana cuyo modelo es **W122CM**, cuyo EER es de 9,8 (BTU/h W), la capacidad es de 12 000 BTU/h y la potencia es de 1 200 W. Por lo que el consumo de energía para estas condiciones es:

$$\text{Potencia total} = 9 \cdot 1\,200 \text{ W} = 10\,800 \text{ W}$$

$$\text{Consumo de energía eléctrica mensual} = 10\,800 \text{ W} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1\,000 \text{ W}} \cdot 8 \text{ h} \cdot 30 \text{ días}$$

$$\text{Consumo de energía eléctrica mensual} = 2\,592 \text{ kWh}$$

$$\text{Costo por consumo de energía eléctrica mensual} = 2\,592 \text{ kWh} \cdot 0,07 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo por consumo de energía eléctrica mensual} = 181,44 \text{ USD}$$

Cuantificación de las emisiones de CO₂ se tiene que:

$$IIC_{CO_2} = 2\,592 \text{ kWh} \cdot 261,971 \frac{\text{g } CO_2}{\text{kWh}} \left| \frac{1 \text{ ton}}{1\,000\,000 \text{ g}} \right|$$

$$IIC_{CO_2} = 0,679 \text{ tonelada metrica } CO_2.$$

Entonces se procede a comparar entre el actual y el diseño de sistemas centralizados. Los datos se resumen en la siguiente tabla:

TABLA 4.59. RESULTADOS COMPARATIVOS DEL AHORRO ENERGÉTICO EN EL BLOQUE A.

| Artículos | Valores antes del ahorro | | | Valores después del ahorro | | |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| | Consumo por mes (kWh) | Costo por mes (USD) | Tonelada métrica de CO ₂ | Consumo por mes (kWh) | Costo por mes (USD) | Tonelada métrica de CO ₂ |
| Equipos de aire acondicionado | 2 592 | 181,44 | 0,679 | 1 497,6 | 104,82 | 0,392 |

De la tabla anterior se comparan los valores antes y después del ahorro y se obtiene que el consumo de energía presentará un ahorro de 1 094,4 kWh, como ahorro económico se tiene 76.62 USD, y de igual forma se presentó una disminución en las emisiones de CO₂ en 0,287 Toneladas métricas.

Costos del nuevo sistema de aire acondicionado

Para la implantación de este nuevo sistema se han tomado de referencia los costos de todos los equipos y accesorios de la empresa MEGAFRIO S.A. [62] mostrados en la siguiente tabla:

TABLA 4.60. COSTOS DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA EL BLOQUE A.

| Equipos y accesorios | Costos USD | |
|--|-------------------------|----------------------|
| | Sistema A | Sistema B |
| Unidad exterior L6UC502FA0 | 1 473,75 | 1 473,75 |
| Tubería principal hasta el distribuidor Líquido 3/8" (valor: 3,12 USD/m) aislamiento Rubatex (valor:0,91 USD/m) gas 3/4" (valor:8,07 USD/m) aislamiento Rubatex (valor:1,71 USD/m) AWG 16X4 (valor:2,07 USD/m) | L=8 m 127 | L=1m 15,9 |
| Distribuidor PMBD5440L | 660,8 | 660,8 |
| Lineas de distribución hacia las unidades internas. líquido 1/4" (valor:2,10 USD/m) aislamiento Rubatex (valor:1,5 USD/m) gas 1/2" (valor:4,0 USD/m) aislamiento Rubatex (valor:1,7 USD/m) AWG 16X4 (valor:2,07 USD/m) | L=36,40 m 415,30 | L=39 m 444,97 |
| Unidad interior (valor por unidad :375,20 USD) LMNC122LR40 | 5 unidades 1 876 | 5 unidades 1 876 |
| TOTAL | 4 552,85 | 4 471,42 |
| TOTAL BLOQUE A | 9 024,27 | |

Más detalles de costos unitarios del sistema de aire acondicionado para el bloque A en el **Anexo [10]**.

Como se pudo observar que la propuesta de instalación del sistema de aire acondicionado en el bloque A produjo resultados positivos, se sugiere el rediseño para el resto de los bloques B,C,D y Sihama.

Se utilizarán para la propuesta los mismos equipos en característica y número por cada bloque (es decir dos por cada bloque), reemplazando a los instalados actualmente (aire acondicionado de ventana) de esta manera los resultados se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 4.61.RESULTADOS COMPARATIVOS DEL AHORRO ENERGÉTICO EN LOS BLOQUES B, C, D Y SIHAMA.

| Bloques | Valores antes del ahorro | | | | Valores después del ahorro | | | |
|---------|--------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------------------|
| | Cantidad | Consumo por mes (KWh) | Costo por mes (USD) | Tonelada métrica de CO ₂ | Cantidad | Consumo por mes (KWh) | Costo por mes (USD) | Tonelada métrica de CO ₂ |
| B | 8 | 2 304 | 161.28 | 0.603 | 2 | 1 497,6 | 104,82 | 0,392 |
| C | 8 | 2 304 | 161.28 | 0.603 | | | | |
| D | 10 | 2 880 | 201.6 | 0.754 | | | | |
| Sihama | 8 | 2 304 | 161.28 | 0.603 | | | | |

En los bloques B, C y Sihama se tiene como ahorros lo siguiente: en consumo energético de 806.4 kWh en el mes, en ahorro económico 56.46 USD/mes, y una reducción de 0.211 Toneladas métricas de CO₂ al mes

Para el bloque D se tiene como ahorros los siguientes: en consumo energético de 1 382.4 kWh en el mes, en ahorro económico 96.78 USD/mes, y una reducción de 0.362 Toneladas métricas de CO₂ al mes.

A continuación en la siguiente tabla se mostrarán otras alternativas necesarias para contribuir a la mejora de la eficiencia energética.

TABLA 4.62. ALTERNATIVAS PARA MEJORA DE LOS PROCESOS EN FUNCIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.

| Ámbito | Alternativa |
|----------------|--|
| | Descripción |
| En la estación | Reemplazar los motores eléctricos que ya han cumplido con su vida útil por otros de alta eficiencia. |
| En el personal | Establecer campañas de concientización sobre ahorro de energía |
| En la estación | Desarrollo de índices de consumo energético por proceso y global |
| En la estación | Colocar avisos que permitan recordar el uso correcto y óptimo de la energía en cada una de las áreas para evitar despilfarros. |
| En la estación | Instalación de sistemas de monitoreo en las redes eléctricas de la instalación. |

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones.

Se ha logrado culminar con éxito el desarrollo de la auditoria energética que se llevó a cabo en instalaciones de la estación de bombeo de Santo Domingo del poliducto Esmeraldas- Santo Domingo – Quito-Macul de la Gerencia de Transporte y Almacenamiento perteneciente a la empresa pública EPPETROECUADOR.

En el desarrollo de este análisis se ha conseguido aprender y aplicar los principios básicos para una auditoria energética, la cual se refleja en los conocimientos adquiridos para tener un criterio sobre el funcionamiento de los sistemas térmicos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos.

Luego de un diagnóstico se puede decir que las máquinas y equipos en la estación se encuentran en condiciones aceptables, aunque no son las óptimas para su funcionamiento los cuales provocan una caída de la eficiencia en cada uno de los sistemas.

Dado los resultados obtenidos de los rendimientos de cada uno de los motores que trabajan en los grupos, se obtuvo que el motor eléctrico ABB con un rendimiento de 94,92 % representa ser el de mayor eficiencia a comparación de los motores a diesel MWM.

Se concluye que el sistema primario es el de mayor eficiencia con un valor 62,72 % a comparación del sistema emergente, razón por la cual es el sistema que más trabajó en el periodo de estudio.

Las bombas centrifugas P-201, P-202, P-203 del sistema emergente con rendimientos de: 86,27 %; 86,57 %; 88,44 % respectivamente se muestran con mayor eficiencia en relación a la bomba del sistema primario que tiene 66,08 % de eficiencia. Esto Debido a que las 3 primeras son de menor número de etapas con respecto a la bomba P-204.

Se ha logrado calcular los rendimientos de los otros motores eléctricos que también trabajan para el sistema emergente como es caso de los ventiladores y compresores siendo para los primeros los siguientes porcentajes: 88,24% 88,23; 88,17%, en los compresores C-201 y C-202 los rendimientos fueron de 87,82%.

Se realizó la cuantificación de los consumos de: energía eléctrica para el sistema primario y combustible para el sistema secundario. Se han tomado los datos de consumo del mes de diciembre con los siguientes resultados: para el sistema primario el consumo fue 398 505,2kWh de energía eléctrica con un costo de mensual de 27895 USD, con una producción de 782490 barriles de combustibles, y un costo de barril bombeado de 0,0356 USD, mientras que para el sistema emergente el consumo fue 85,714 m³ de diesel y el costo mensual de 23 988,622 USD, con una producción de 650 952 barriles de combustibles y con un costo por barril bombeado de 0,037 USD. Comprobándose que el costo por barril bombeado es el mismo en los dos sistemas.

Se han determinado las emisiones de dióxido de carbono para los siguientes casos: 104,396 toneladas métricas de CO₂ que se producen en el mes de diciembre para el sistema primario; 229,615 toneladas métricas de CO₂ para el sistema emergente y 18,915 toneladas métricas de CO₂ para las demás máquinas y equipos que funcionan en la planta representados como varios, implicando un total de 352,926 toneladas métricas de CO₂ que emitió la planta a la ambiente en ese mes.

5.2. Recomendaciones.

- En vista de que el costo por barril bombeado en los dos sistemas es el mismo, se recomienda la instalación de motores eléctricos en el resto de las estaciones del poliducto; para evitar contaminación directa por la emisión de gases generada por el funcionamiento de estos motores.
- Concientizar al personal de la estación mediante una campaña y tomar muy en cuenta el costo de la misma, de esta manera promoviendo al uso racional de la energía, y así evitar contribuir a la contaminación, siendo esto una importante alternativa de ahorro de energía la cual se evidencia en los datos de la *TABLA 4.51.*, con los siguientes resultados para iluminación: 13 930,2 kWh; 975,11 USD; 3,65 Toneladas métricas de CO₂, para equipos de oficina: 3 976,23 kWh ; 274,87 USD; 1,03 Toneladas métricas de CO₂.
- En las horas laborables (en la mañana y tarde) solamente utilizar luz eléctrica en donde realmente se necesite de buena visibilidad para desarrollar alguna actividad necesaria y a su vez haya la dificultad de realizarlo por carencia de luminosidad, de caso contrario apagarla y abrir persianas y todas las formas de iluminación con luz natural en el lugar.
- Se sugiere que se incluyan costos de mantenimiento al análisis de índice económico energético para tener un resultado más real en los costos por barril bombeado tanto en el sistema primario y secundario.
- Realizar un análisis de las redes y de las conexiones de los equipos que consumen energía eléctrica para evitar pérdidas en el consumo de energía.
- Se recomienda tener en cuenta que “la energía más limpia es la energía ahorrada”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] THUMANN, A., Handbook of Energy Audit, 6th. ed., Marcel Dekker Inc, 2003, p 23.
- [2] <http://barranquilla.olx.com.co/kit-multimetro-fluke-117-322-pinza-y-multimetro-iid-147102853>.
- [3] <http://cleanairengineering.com/page.php?u=produit&idprod=216&lang=es>
- [4] <http://generalpico.olx.com.ar/vendo-camara-digital-samsung-sl30-iid-91495173>
- [5] http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/023_Diseño_estaciones_bombeo/Dise%C3%B1o%20estaciones%20de%20bombeo.pdf
- [6] DÍAZ, Rodrigo, Termodinámica Automotriz, 1ra.ed., 2008, p 251.
- [7] <http://mimotor-diesel.blogspot.com/2009/02/motor-de-dos-tiempos.html>
- [8] FAIRES, V. SIMMANG, C., Termodinámica, 5ta.ed., México, Limusa, 2003,
- [9] <http://elblogverde.com/gases-contaminantes/>
- [10] http://www.portalplanetasedna.com.ar/efecto_invernadero1.htm#efe
- [11] <http://blog.espol.edu.ec/cysuzamb/2010/09/03/gases-contaminantes/>
- [12] <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12378/10/ISO%2014000.pdf>
- [13] <http://huttab-iso.blogspot.com/>
- [14] <http://www.soteco.com.es/multiplicadores.html>
- [15] <http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/29/29-10.pdf>
- [16] ÁLVARO AGUINAGA BARRAGÁN, Seminario de Compresores, Quito, 2010.
- [17] <http://compresores/neumaticabásica.edu/máquinas>
- [18] http://web.usal.es/~tonidm/DEI_05_Bombas_compresores.pdf
- [19] ENRIQUE CARNICER ROYO, Aire comprimido, Madrid, Ed. Paraninfo, 1991, p. (p.p. 23-24).
- [20] http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica10.htm
- [21] <http://compresores.ecb.edu/neumática/airtículos/máquinas/comprimido>.

- [22] <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/comprimido/comprimido.htm>
- [23] MIGUEL, S.ALCALDE Pablo, Electrotecnia, 3era.ed., Madrid, Paraninfo, 1997, p. (p.p. 448-452).
- [24] http://www.sapiensman.com/electrotecnia/motor_electrico1.htm
- [25] http://www.angelfire.com/sk3/todoarchivos0/archivos/Eficiencia_en_Motores_electricos.pdf
- [26] STEPHEN J. CHAPMAN, Máquinas eléctricas, 3. era. ed., Mc Graw Hill, 2000, p 403.
- [27] CARNICER, E. y ROYO, Bombas Centrifugas.2da edición.
- [28] MATAIX, Claudio, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, 2da. Ed., Madrid, Ediciones del Castillo S.A. s. f., p.p. 387.
- [29] <http://www.directindustry.es/prod/pompe-rotomec/bombas-centrifugas-para-fangos-58304-563284.html>
- [30] FLOWSERVE, Centrifugal pumps, Catálogo índice installation Operation Mantineance.
- [31] FLOWSERVE, Centrifugal pumps, Catálogo installation Operation Mantineance.
- [32] http://www.fra.utn.edu.ar/download/carreras/ingenierias/electrica/materias/planes_tudio/quintonivel/electronicall/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf
- [33] <http://www.infopl.net/blog4/2010/02/16/el-convertidor-de-frecuencia/>
- [34] <http://es.scribd.com/doc/52373293/7/PARTES-DEL-VARIADOR-DE-FRECUENCIA>
- [35] <http://www.variadores.net/blog2/eficiencia-convertidores>
- [36] <http://konnann2001.galeon.com/VARIADOR.HTML>
- [37] http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/4821/Eficiencia_energ__tica_en_accion_amientos__1_.pdf
- [38] http://www.eaton.com/ecm/groups/public/@pub/@electrical/documents/content/act_258874.pdf[24]http://www.petrocomercial.com/wps/portal!ut/p/c0/04_SB8

K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os_jQAN9AQzcPIwMLfw8DAyMnUxNjM0c_A_c
QU_2CbEdFADhy6RI!//

- [39] PETROCOMERCIAL, valores densidades, archivos departamento de operaciones, 2011.
- [40] [http://www.petrocomercial.com/wps/portal/!ut/p/c1/hY1NC4JAGIR_Uey8u7LqUan9UHMLscyLeIhYSO0Q_f6ULhFUM8fnGYa1bO7YP_ylv_tp7KsYa3s6t12T8pwQEchLLJMiECTVjTzKxKx2sVWKJlbghcmiAtDhZ6Lf6sj8vfm6FVMhu6FiatYqAQH9yRisFV6ExZ5XB5OK__heOL0nASjMNZ3YbGni7Sp7Z2qh2/dl2/d1/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnB3LzZfVBNUTFGSDIwR0ZBNzBJR1UzSEJTOTBHUDA!//](http://www.petrocomercial.com/wps/portal/!ut/p/c1/hY1NC4JAGIR_Uey8u7LqUan9UHMLscyLeIhYSO0Q_f6ULhFUM8fnGYa1bO7YP_ylv_tp7KsYa3s6t12T8pwQEchLLJMiECTVjTzKxKx2sVWKJlbghcmiAtDhZ6Lf6sj8vfm6FVMhu6FiatYqAQH9yRisFV6ExZ5XB5OK__heOL0nASjMNZ3YbGni7Sp7Z2qh2/dl2/d1/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnB3LzZfVBNUTFGSDIwR0ZBNzBJR1UzSEJTOTBHUDA!/)
- [41] <http://www.petrocomercial.com/mantenimiento en línea>
- [42] PETROCOMERCIAL, mantenimiento de motores de combustión interna, seguridad industrial, 2011.
- [43] PETROCOMERCIAL, datos de placa de motores de combustión interna, oficinas de mantenimiento mecánico, 2011.
- [44] PETROCOMERCIAL, programa de mantenimiento en los motores eléctricos, seguridad industrial, 2011.
- [45] PETROCOMERCIAL, datos de bombas centrifugas, seguridad industrial, 2011.
- [46] PETROCOMERCIAL, programa de mantenimiento bombas centrífugas, seguridad industrial, 2011.
- [47] PETROCOMERCIAL, programa de mantenimiento de actuadores, seguridad industrial, 2011.
- [48] PETROCOMERCIAL, programa de mantenimiento de transformadores, seguridad industrial, 2011.
- [49] PETROCOMERCIAL, programa de mantenimiento de compresores, seguridad industrial, 2011.
- [50] PETROCOMERCIAL, Catálogos de las bombas Guinard, departamento de mantenimiento mecánico.
- [51] PETROCOMERCIAL, programa de mantenimiento de bombas centrífugas, seguridad industrial, 2011.

[52] http://agora.escoladeltreball.org/Departaments/Electricitat/cfgm-equipos-i-instal·lacions-electrotecniques/2weia/modul%205/empreses-relacionades-amb-la-domotica/Iluminacion_Lexel.pdf

[53] www.ila.org.pe/publicaciones/docs/reg_seg_sald.doc

[54] http://www.rimaluz.com/niv_industria.html

[55] <file:///C:/Users/usuario/Documents/archivos%20%20para%20tesis/iluminacion/Peri%20C3%B3dico%20EI%20Oficial.htm>

[56] PETROCOMERCIAL, datos de producci3n en bombas centrifugas, seguridad industrial, 2011.

[57] PETROCOMERCIAL, datos de producci3n en bombas centrifugas, seguridad industrial, 2011.

[58] http://www.sunearthtools.com/dp/tools/CO2-emissions-calculator.php#txtCO2_16

[59] http://www.magap.gob.ec/mag01/index.php?option=com_content&view=article&id6

[60] <http://www.acuerdo-ministerial-no091-2011-&catid=140:acuerdos-ministeriales&Itemid=111>

[61] <http://www.calculator.net/btu-calculator.html>

[62] www.megafrio.com

BIBLIOGRAFIA

- AGUINAGA, A. Seminario de Compresores. Quito: 2010.
- ALCALDE, P. Electrotecnia. 3ra.ed. Madrid: Paraninfo, 1997.
- CARNICER, E. Sistemas Industriales Accionados por Aire Comprimido. Madrid: Paraninfo, 1997.
- CARNICER, E. Bombas Centrifugas. 2da.ed. Madrid: Paraninfo, 2004.
- CHAPMAN, J. Máquinas eléctricas. 3ra.ed. México: McGraw Hill, 2000.
- DÍAZ, R. Termodinámica Automotriz. Riobamba: COPYCENTER, 2008.
- FAIRES, V. Termodinámica. 5ta.ed. México: Limusa, 2003.
- MATAIX, C. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. 2da.ed. Madrid: Ediciones del Castillo S.A., 1982.
- THUMANN, A. Handbook of Energy Audit. 6th.ed. New York: Marcel Dekker Inc, 2003.

LINKOGRAFÍA

Multímetro fluke

<http://barranquilla.olx.com.co/kit-multimetro-fluke-117-322-pinza-y-multimetro-iid-147102853>
2011-05-13.

Analizador del humo de Testo 350 XL

<http://cleanairengineering.com/page.php?u=produit&idprod=216&lang=es>
2011-05-13.

Cámara Digital Samsung

<http://generalpico.olx.com.ar/vendo-camara-digital-samsung-sl30-iid-91495173>
2011-05-13.

OPSOMS.ORG

http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/023_Diseño_estaciones_bombeo/Dise%C3%B1o%20estaci%C3%B3n%20de%20bombeo.pdf
2011-02.12.

Motores diesel

<http://mimotor-diesel.blogspot.com/2009/02/motor-de-dos-tiempos.html>
2011-02.12.

Gases contaminantes

<http://elblogverde.com/gases-contaminantes/>
2011-02.12.

Efecto invernadero

http://www.portalplanetasedna.com.ar/efecto_invernadero1.htm#efe
2011-02.12.

Gases contaminantes

<http://blog.espol.edu.ec/cysuzamb/2010/09/03/gases-contaminantes/>
2011-02.12.

Gases de efecto invernadero

http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/gases_es.pdf
2011-02-20.

Modelo de estándares iso

<http://huttab-iso.blogspot.com/>
2011-03-08.

Multiplicadores de velocidad

<http://www.soteco.com.es/multiplicadores.html>
2010-05-01.

Análisis de la avería por calentamiento del multiplicador de la bomba del sistema contra incendio

<http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/29/29-10.pdf>
2011-05-01.

Teoría de compresores

<http://compresores/neumaticabásica.edu/máquinas>
2011-05-01.

Bombas y compresores

http://web.usal.es/~tonidm/DEI_05_Bombas_compresores.pdf
2011-05-10.

Neumática e hidráulica

http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica10.htm
2 011-05-22.

Máquinas de aire comprimido

<http://compresores.ecb.edu/neumática/airtículos/máquinas/comprimido>.
2 011-05-23.

Aire comprimido

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/comprimido/comprimido.htm>
2 011-05-23.

Motores de inducción trifásica

http://www.sapiensman.com/electrotecnia/motor_electrico1.htm
2 011-05-25

Eficiencia energética en motores eléctricos

http://www.angelfire.com/sk3/todoarchivos0/archivos/Eficiencia_en_Motores_electricos.pdf
2 011-06-01.

Catálogo de bombas centrífugas

<http://www.directindustry.es/prod/pompe-rotomec/bombas-centrifugas-para-fangos-58304-563284.html>
2 011-06-01.

Variadores de frecuencia

http://www.fra.utn.edu.ar/download/carreras/ingenierias/electrica/materias/plane-studio/quintonivel/electronicall/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf
2 011-06-01.

Convertidor de frecuencia

<http://www.infopl.net/blog4/2010/02/16/el-convertidor-de-frecuencia/>
2 011-06-03.

Ahorro de energía con variadores de frecuencia

<http://es.scribd.com/doc/52373293/7/partes-del-variador-de-frecuencia>
2 011-06-03.

Fundamentos de variadores y convertidores de velocidad

<http://www.variadores.net/blog2/eficiencia-convertidores>
2 011-02-06.

Variadores de velocidad

<http://konnann2001.galeon.com/VARIADOR.HTML>
2 011-02-06.

Eficiencia energética en accionamiento (Siemens)

http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/4821/Eficiencia_energ__tica_en_accionamientos__1_.pdf
2 011-06-06.

EPPetroecuador Gerencia de Almacenamiento y transporte Santo Domingo

http://www.eaton.com/ecm/groups/public/@pub/@electrical/documents/content/pct_258874.pdf[24]
http://www.petrocomercial.com/wps/portal!/ut/p/c0/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os_jQAN9AQzcPIwMLfw8DAyMnUxNjM0c_A_cQU_2CbEdFADhy6RI!

[http://www.petrocomercial.com/mantenimiento en línea.](http://www.petrocomercial.com/mantenimiento_en_lnea)
2 011-06-08.

Tipos de iluminación

http://agora.escoladeltreball.org/Departaments/Electricitat/cfgm-equipos-i-instal·lacions-electrotecniques/2weia/modul%205/empreses-relacionades-amb-la-domotica/Iluminacion_Lexel.pdf

2 011-06-10.

Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo

www.ila.org.pe/publicaciones/docs/reg_seg_sald.doc

2 011-06-10.

Empresa Rimaluz

http://www.rimaluz.com/niv_industria.html

2 011-06-10.

Niveles de iluminación

<file:///C:/Users/usuario/Documents/archivos%20%20para%20tesis/iluminacion/Peri%20C3%B3dico%20El%20Oficial.htm>

2 011-06-10.

Sunearthtools

<http://www.sunearthtools.com/dp/tools/CO2-emissions-calculator.php#txtCO2>

2 011-06-12.

Diagnóstico y auditoría energética

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:nMNkKy3maQgJ:campus.claroline.net/claroline/backends/download.php%3Furl%3DL0RpYXNnbvNzdGljb195X0F1ZGI0b3LtYS5yYXI%25>

2 011-07-06.

Software en línea BTU calculator

<http://www.calculator.net/btu-calculator.html>

2 011-11-01.

EMPRESA MEGAFRIO S.A.

www.megafrio.com

2 011-11-13.