



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

USO EFICIENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA DE
AGUA POTABLE DEL ACUEDUCTO ACAHUIZOTLA EN LA
CIUDAD DE CHILPANCINGO GUERRERO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A:
BLANCA ESTELA DEOLARTE HERNÁNDEZ



DIRECTOR DE TESIS: ING. AUGUSTO SÁNCHEZ CIFUENTES

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO 2005.

m. 340444



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a :

Dios Padre

*mi Padre Enrique
mi Madre Antonia Esther
mi Hermano Enrique
Mi Hermana Alejandra
Mi sobrina Lucero
mi amiga Beatrice Maldonado*

Porque

*Nuestro más profundo miedo
no es ser inadecuado*

*Nuestro más profundo miedo es que
somos poderosos más allá de lo imaginable.*

*No es nuestra oscuridad lo que más nos asusta
Sino nuestra luz—*

Nelson Mandela

Agradecimientos

Agradezco a Dios Padre que me haya dado la oportunidad de vivir y de llegar a este punto de mi vida feliz y triunfadora.

Agradezco a mi amado Padre Enrique por haberme dado la vida, haberme amado tanto y darme lo mejor de sí mismo, trabajando duro cada día, y por enseñarme la constancia, el orden, el triunfo, el amor, la persistencia, y la dignidad.

Agradezco a mi amado manita Coñita por seguir viva y ser la mujer más importante en mi vida, por haberme dado la vida, por amarme tanto y por enseñarme la nobleza, el trabajo, el orden, el éxito, el amor, la generosidad y honestidad. También le agradezco por su apoyo para concluir mi carrera hasta el último segundo.

Agradezco a mi amado hermano Enrique por ser mi único hermano varón, por ser ejemplo de perseverancia, de inteligencia, de nobleza, de vulnerabilidad, entrega, confianza y toma de riesgos.

Agradezco a mi amado hermano Ale por estar presente en toda mi vida, por darme el ejemplo de trascendencia, de belleza, de alegría, de apertura, de participación, de apoyo, de amor, de libertad, compromiso, por su constante feed back, por amarme tanto y haberme enrolado a UMSU.

Agradezco a mi amado hermana María de los Angeles por amarme, por apoyarme en todo, por darme ejemplo de perseverancia, de éxito, de que todo es posible, de nobleza, de vulnerabilidad y por su constante feed back.

Agradezco a mi amado sobrina Lucero por enseñarme la inocencia, la alegría, la belleza, la sencillez, y la promesa de una vida de éxito.

Agradezco a mi amado esposo Moisés por compartir su vida conmigo y por compartir la vida conmigo, por amarme y por su visión de éxito, por apoyarme en todo este tiempo para la culminación de mi carrera.

Agradezco a ese bebé que si Dios quiere pronto se engendrará, por esperarme tanto.

Agradezco a mi amada prima Azucena Pérez Hernández por enseñarme lo que es el triunfo, la internacionalización, por vivir en el extranjero, por estudiar Ingeniería, por hablar Inglés y Francés, por enseñarme a ser saludable, y a hacer ejercicio, por enseñarme la diversión y la felicidad, y lo preciosa que es nuestra vida.

Agradezco a la Comisión Nacional del agua así como al Ing. Luis López Ortiz y al Ing. Moisés Martínez Esorio, por haberme permitido involucrarme en el Proyecto Nacional de Ahorro de Energía Eléctrica en Plantas de Bombeo; Que fue el inicio de este trabajo.

Agradezco a mi Director de Tesis el Ing. Augusto Sánchez Cifuentes por su colaboración y apoyo en este trabajo, por su paciencia y su fe en mí.

Al Ing. Oscar Flores Sanabria por sus anotaciones importantes para este trabajo y para mi carrera.

Agradezco al Doctor José Luis García Aguirre por haberme apoyado tanto en los momentos más transitorios de mi vida, por haber creído en mí, por su ejemplo de éxito, sencillez, humildad, por su compromiso y por mantener siempre su palabra.

Agradezco a mi amada amiga Betty Maldonado García por haber estado en mi vida casi veinte años con honestidad, compromiso y enseñarme lo que es la inteligencia y el amor.

Agradezco a mi amada amiga Linda Avendaño Franco por amarme y apoyarme en todo cuando lo he necesitado, por su ejemplo de éxito, de logro de metas, de alegría, de vulnerabilidad, de apertura, y de internacionalización.

Agradezco a mi amigo Israel Campos González por ser mi único amigo leal, honesto y perdurable, por enseñarme lo que es la trascendencia, el apoyo y que no existen fronteras en este mundo.

Agradezco a mi grupo 1103 y más compañeros de la Facultad de Ingeniería Generación 94 por darme esos años de alegría y felicidad, sobre todo a Anel que continúa en mi corazón, a Jorge Díaz, a Eduardo Flores, a Brenda Fuentes, Makarenko Rueda, a Miguel Luna, a Miguel López, a Xeroito, a José Mendieta, a Ezequiel, a Carlos Pérez; por continuar siendo mis amigos.

A mis profesores de toda mi vida por enseñarme y transmitirme sus conocimientos.

Agradezco a EMD por haberme impulsado a concretar este y muchos más sueños. Agradezco a mi hermandad P.L.D: Alejandro, Alicia, Antonio, Arturo, Elvia, Ernesto, Esmeralda, Felipe, Fredy, Gloria, Homero, Karina, Karla, Lulú, Maribel, Miguel, Nacho, Reyes, Rocio, Rosy, Silvia, por apoyarme, por ser honestos, valientes, respetuosos, amorosos, humildes, comprometidos, unidos, responsables, y por ser evidencia de que los seres humanos somos capaces de realizar nuestros sueños.

A mi México amado por haber nacido en su territorio, en su cultura y en su sociedad.

	Índice general
Índice de figuras	V
Índice de tablas	VII
Introducción	X
Capítulo 1. Plantas de bombeo de agua potable	1
1.1 Funcionamiento de una sistema de agua potable	1
1.1.1 Aguas subterráneas	1
1.1.2 Esquema convencional de abastecimiento	2
1.2 Composición del sistema electromecánico de una planta de bombeo	3
1.2.1 La bomba	3
1.2.2 El motor eléctrico	5
1.2.3 El Arrancador	6
1.2.4 La carga	6
1.3 Eficiencia del equipo de bombeo	9
1.4 Factores que implican mayor consumo de energía	10
1.4.1 Armónicas	10
1.4.2 Factor de potencia	11
1.4.3 Pérdidas de potencia	14
1.4.4 Reducción de la capacidad de motores	17
1.4.5 Sobredimensionamiento	21
1.4.6 Equipos fuera de operación	22
1.5 La optimización en la administración de la energía eléctrica	22
1.5.1 Descripción de la administración de energía eléctrica	23
1.5.1.1 Tarifas de suministro de energía eléctrica	24
1.5.2 Dispositivos que reducen el consumo de energía eléctrica	27
1.5.2.1 Controladores de demanda	27
1.5.2.2 Motores eficientes	29
1.5.2.3 Variadores de frecuencia	30
1.5.2.4 Bancos de capacitores	33
1.5.2.5 Filtros de armónicas	35

Capítulo 2. Sistema de Agua Potable Acahuizotla	37
2.1 Descripción del sistema	37
2.2 Procedimientos de medición	38
2.2.1 En bombas	38
2.2.2 En motores	38
2.2.3 En Líneas de conducción	39
2.2.4 En subestación	39
2.3 Características de las plantas de bombeo	40
2.3.1 Planta Captación	40
2.3.1.1 Equipamiento electromecánico	40
2.3.1.2 Línea de conducción	40
2.3.1.3 Operación del sistema	40
2.3.2 Planta de bombeo 1	41
2.3.2.1 Equipamiento electromecánico	41
2.3.2.2 Línea de conducción	41
2.3.2.3 Operación del sistema	41
2.3.3 Planta de bombeo 2	41
2.3.3.1 Equipamiento electromecánico	41
2.3.3.2 Línea de conducción	42
2.3.3.3 Operación del sistema	42
2.3.4 Planta de bombeo 3	42
2.3.4.1 Equipamiento electromecánico	42
2.3.4.2 Línea de conducción	42
2.3.4.3 Operación del sistema	42
2.4 Consumo eléctrico durante un mes	42
2.4.1 Conceptos de factura	42
2.4.2 Valores eléctricos	43
Capítulo 3. Resultados y estrategias para el uso eficiente de energía eléctrica	45
3.1 Resultados eléctricos	45
3.1.1 Mediciones de campo de las plantas de bombeo	45

3.1.1.1 Planta Captación	45
3.1.1.2 Planta de Bombeo 1	46
3.1.1.3 Planta de Bombeo 2	46
3.1.1.4 Planta de bombeo 3	47
3.1.2 Descripción del estado general de los equipos	47
3.1.2.1 Equipos electromecánicos	48
3.1.2.2 Trenes de descarga	48
3.1.2.3 Transformadores	48
3.1.2.4 Arrancadores	48
3.1.2.5 Subestaciones eléctricas	49
3.2 Resultados energéticos	49
3.2.1 Planta Captación	50
3.2.1.1 Equipo 1	50
3.2.1.2 Equipo 2	50
3.2.1.3 Equipo 3	50
3.2.1.4 Equipo 4	51
3.2.2 Planta de Bombeo 1	51
3.2.2.1 Equipo 1	51
3.2.2.2 Equipo 2	51
3.2.2.3 Equipo 3	52
3.2.2.4 Equipo 4	52
3.2.3 Planta de Bombeo 2	52
3.2.3.1 Equipo 1	52
3.2.3.2 Equipo 2	52
3.2.3.3 Equipo 3	53
3.2.3.4 Equipo 4	53
3.2.4 Planta de Bombeo 3	53
3.2.4.1 Equipo 1	53
3.2.4.2 Equipo 2	53
3.2.4.3 Equipo 3	54

3.2.4.4 Equipo 4	54
3.3 Estrategias para el uso eficiente de energía eléctrica	54
3.3.1 Planta Captación	56
3.3.1.1 Equipos electromecánicos	56
3.3.1.2 Transformadores	56
3.3.1.3 Arrancadores	56
3.3.1.4 Subestación eléctrica	57
3.3.2 Planta de Bombeo 1	57
3.3.2.1 Tren de descarga	57
3.3.2.2 Equipos electromecánicos	57
3.3.2.3 Transformadores	57
3.3.2.4 Arrancadores	57
3.3.2.5 Subestación eléctrica	57
3.3.3 Planta de Bombeo 2	58
3.3.3.1 Tren de descarga	58
3.3.3.2 Equipos electromecánicos	58
3.3.3.3 Transformadores	58
3.3.3.4 Arrancadores	58
3.3.3.5 Subestación eléctrica	58
3.3.4 Planta de Bombeo 3	58
3.3.4.1 Tren de descarga	58
3.3.4.2 Equipos electromecánicos	59
3.3.4.3 Transformadores	59
3.3.4.4 Arrancadores	59
3.3.4.5 Subestación eléctrica	59
Capítulo 4. Conclusiones	60
Bibliografía	66
Anexo 1. Descripción de los sistemas de bombeo	68
Anexo 2. Resultados de los parámetros de equipos electromecánicos	76

Índice de figuras

Capítulo 1. Plantas de bombeo de agua potable

Figura 1.1	Esquema de un sistema de captación	2
Figura 1.2	Esquema de una planta de bombeo	3
Figura 1.3	Elementos de una bomba centrífuga	4
Figura 1.4	Características para cargas de par variable	7
Figura 1.5	Características para cargas de par constante	8
Figura 1.6	Desempeño de un motor de inducción de potencia constante	8
Figura 1.7	Características para cargas de 10 HP con un rango potencia constante	8
Figura 1.8	Espectro de una señal de corriente con distorsión	10
Figura 1.9	Efecto del FP sobre la capacidad del motor y del transformador	12
Figura 1.10	Efecto del FP sobre la capacidad del transformador	12
Figura 1.11	Triángulo de potencias	13
Figura 1.12	Pérdidas en "por unidad" de motores estándar diseño B, 4 polos, trifásicos	17
Figura 1.13	Factor de pérdida de capacidad en motores trifásicos con voltaje desbalanceado	19
Figura 1.14	Ahorro de energía [W]	21
Figura 1.15	Ahorro de energía [kVA]	21
Figura 1.16	Gráfica de las tarifas 6, OM, HM.	26
Figura 1.17	Perfiles de demanda; inicial y mejorado	27
Figura 1.18	Pérdidas de potencia a plena carga de motores NEMA B, estándares de 1800 rpm contra motores de primera generación y motores de alta eficiencia	30
Figura 1.19	Comparación de eficiencia nominal a plena carga de motores de inducción, de 1800 rpm	30
Figura 1.20	Rango de eficiencia nominal para motores de alta eficiencia, 1800 rpm	30

Figura 1.21 Reducción de pérdidas y aumento de eficiencia para motores de inducción de 50 HP, a 1800 rpm	30
Figura 1.22 Partes de un variador de frecuencias	31
Figura 1.23 Rectificación del FP	33
Figura 1.24 Factor de Potencia en motores de inducción, diseño B, NEMA, 1800 rpm	33
Figura 1.25 Localización de capacitores	34
Figura 1.26 Ahorro de energía en un motor trifásico con controlador de FP	35

Capítulo 2. Sistema de Agua Potable Acahuizotla

Figura 2.1 Diagrama del sistema de agua potable Acahuizotla	38
Figura 2.2 Diagrama unifilar eléctrico tipo	39

Capítulo 3. Resultados y estrategias para el uso eficiente de energía eléctrica

Figura 3.1 Localización de capacitores	54
Figura 3.2 Disposición del sistema de tierras	55

Índice de tablas

Capítulo 1. Plantas de bombeo de agua potable

Tabla 1.1 Bonificación y recargos según el FP	12
Tabla 1.2 Comparación del calibre del conductor cuando se tiene exceso de corriente	15
Tabla 1.3 Valores de potencia a carga real unitaria de un transformador	15
Tabla 1.4 Pérdidas en cada componente del motor	16
Tabla 1.5 Decremento de pérdidas y aumento de eficiencia en motores de inducción	16
Tabla 1.6 Tensiones nominales para motores trifásicos	17
Tabla 1.7 Tarifas que aplican a los sistemas de bombeo del sector	24
Tabla 1.8 Horarios establecidos por la CFE para la región sur en el horario de invierno	25
Tabla 1.9 Análisis de costos de energía	26
Tabla 1.10 Análisis de demanda	27
Tabla 1.11 Porcentajes de ahorro de energía con diferentes gastos y diferentes sistemas de fricción	32

Capítulo 2. Sistema de Agua Potable Acahuizotla

Tabla 2.1 Valores obtenidos de la factura emitida por la compañía de suministro eléctrico en Abril 2004	43
Tabla 2.2 Precios unitarios de energía en marzo del 2004 según la compañía de suministro eléctrico	44

Capítulo 3. Resultados y estrategias para el uso eficiente de energía eléctrica

Tabla 3.1 Mediciones eléctricas de la planta de bombeo Captación	45
Tabla 3.2 Revisión individual de equipos	45

Tabla 3.3 Revisión en paralelo de equipos	45
Tabla 3.4 Mediciones eléctricas de la planta de bombeo 1	46
Tabla 3.5 Revisión individual de equipos	46
Tabla 3.6 Revisión en paralelo de equipos	46
Tabla 3.7 Mediciones eléctricas de la planta de bombeo 2	46
Tabla 3.8 Revisión individual de equipos	46
Tabla 3.9 Revisión en paralelo de equipos	47
Tabla 3.10 Mediciones eléctricas de la planta de bombeo 3	47
Tabla 3.11 Revisión individual de equipos	47
Tabla 3.12 Revisión en paralelo de equipos	47
Tabla 3.13 Parámetros eléctricos de cada equipo electromecánico	49

Anexo 1

Tabla a1. Ficha Técnica - bombas de la planta de bombeo Captación	68
Tabla a2. Ficha Técnica - Motores de la planta de bombeo Captación	69
Tabla a3. Ficha Técnica - bombas de la planta de bombeo 1.	70
Tabla a4. Ficha Técnica - Motores de la planta de bombeo 1	71
Tabla a5. Ficha Técnica - bombas de la planta de bombeo 2	72
Tabla a6. Ficha Técnica - Motores de la planta de bombeo 2	73
Tabla a7. Ficha Técnica - bombas de la planta de bombeo 3	74
Tabla a8. Ficha Técnica - Motores de la planta de bombeo 3	75

Anexo 2

Tabla b1. Parámetros de campo del equipo motor 1	76
Tabla b2. Parámetros de campo de la bomba 1	77
Tabla b3. Parámetros de campo del equipo motor 2	77
Tabla b4. Parámetros de campo de la bomba 2	78
Tabla b5. Parámetros de campo del equipo motor 3	78

Tabla b6. Parámetros de campo de la bomba 3	79
Tabla b7. Parámetros de campo del equipo motor 4	79
Tabla b8. Parámetros de campo de la bomba 4	80
Tabla b9. Parámetros de campo del equipo motor 1	80
Tabla b10. Parámetros de campo de la bomba 1	81
Tabla b11. Parámetros de campo del equipo motor 2	81
Tabla b12. Parámetros de campo de la bomba 2	82
Tabla b13. Parámetros de campo del equipo motor 3	82
Tabla b14. Parámetros de campo de la bomba 3	83
Tabla b15. Parámetros de campo del equipo motor 4	83
Tabla b16. Parámetros de campo de la bomba 4	84
Tabla b17. Parámetros de campo del equipo motor 1	84
Tabla b18. Parámetros de campo de la bomba 1	85
Tabla b19. Parámetros de campo del equipo motor 2	85
Tabla b20. Parámetros de campo de la bomba 2	86
Tabla b21. Parámetros de campo del equipo motor 3	86
Tabla b22. Parámetros de campo de la bomba 3	87
Tabla b23. Parámetros de campo del equipo motor 4	87
Tabla b24. Parámetros de campo de la bomba 4	88
Tabla b25. Parámetros de campo del equipo motor 1	88
Tabla b26. Parámetros de campo de la bomba 1	89
Tabla b27. Parámetros de campo del equipo motor 2	89
Tabla b28. Parámetros de campo de la bomba 2	90
Tabla b29. Parámetros de campo del equipo motor 3	90
Tabla b30. Parámetros de campo de la bomba 3	91
Tabla b31. Parámetros de campo del equipo motor 4	91
Tabla b32. Parámetros de campo de la bomba 4	92

Introducción

Haber considerado por muchos años a la energía como un recurso ilimitado y de bajo costo llevó a desarrollar infraestructuras completas de uso final de la misma con altos índices de consumo por unidad de producto o servicio entregado.

Esta situación, junto con el incremento de los precios de la energía y las transformaciones tecnológicas en cuanto a materiales, equipos y sistemas, han permitido que el potencial de ahorro y el uso eficiente se haya ampliado de tal modo que hoy pueda aprovecharse en una escala que compite con la creación de nueva infraestructura de producción de energía.

La presión de estos tiempos, acelerada por el desarrollo de la informática y acentuada por la crisis económica, no debe hacernos caer en lo que cita la voz popular, de que lo urgente reemplaza a lo importante: Es indispensable dedicar el tiempo necesario para evaluar el beneficio a mediano y largo plazo que se puede tener con medidas que se realizan hoy, como lo es el uso eficiente de la energía.

Como país en vías de desarrollo, con importantes rezagos en materia económica y social, cada quien debe afrontar con plena responsabilidad la parte que le corresponde, ya que son muchos los casos en los que es más económico y redituable para el país, sobre todo el corto y mediano plazo, el ahorrar y usar racionalmente la energía que invertir en nuevas instalaciones.

Debemos considerar en nuestros proyectos y actividades, la necesidad de incorporar equipos y sistemas orientados a la eficiencia y al ahorro de energía, con una actualización tecnológica que sólo se logrará con un esfuerzo permanente de estudio y de investigación que nos permitirán adoptar los conocimientos más convenientes para el desarrollo del país.

Alrededor del 70% del consumo de la energía eléctrica generada se debe al funcionamiento de los motores eléctricos^a. Incontables ejemplos de su aplicación, se tienen en la industria, el comercio, los servicios y en el hogar.

Es significativo, el hecho de que los motores eléctricos, suministran en su mayor parte, la energía que mueve los accionamientos industriales, por lo que la operación y conservación de los motores en la industria, representa uno de los campos más fértiles de oportunidades en el ahorro de energía, que se traducen en una reducción en los costos de producción y en una mayor competitividad.

El agua es un elemento primordial para el desarrollo y bienestar de nuestra sociedad. Las plantas de bombeo, de potabilización y de tratamiento de aguas residuales a nivel nacional, consumen gran cantidad de energía eléctrica para lograr que se capte, se trate, y se distribuya a las ciudades, requiriendo para ello grandes instalaciones electromecánicas.

^a Comisión Nacional del Agua.

Dentro de estas instalaciones existen equipos eléctricos, con múltiples años de uso, operando con bajos niveles de eficiencia y con parámetros de operación que difieren de sus valores nominales de placa.

Si se lograra mejorar estos sistemas al menos 1%, se tendrían ahorros sustantivos de por lo menos 60 millones de pesos anuales^a, los cuales podrían invertirse dentro del mismo ramo, de tal manera que podrían rehabilitarse los sistemas, o en su caso instalar nueva infraestructura eléctrica eficiente en términos de energía y operación.

Los organismos operadores, las dependencias federales y estatales responsables de administrar el agua, son los responsables de captar, conducir, tratar, y distribuir el valioso líquido; desde la más pequeña comunidad rural, hasta la ciudad más grande; ellos deben optimizar sus operaciones para disminuir su consumo de energía eléctrica.

Este subsector gasta más de 2 000 millones de pesos anualmente^a en consumo por energía eléctrica.

El ahorro que pudiera obtenerse, se podría canalizar al mantenimiento electromecánico de los sistemas; concepto sumamente importante que coadyuvaría a mantener la eficiencia y la operación del sistema electromecánico en excelentes condiciones.

El objetivo de este trabajo es ayudar a reducir los costos de operación en términos de energía eléctrica, mediante información que ayude a mejorar los principales parámetros para que sus equipos, estaciones, y sistemas operen eficientemente y con ello lograr una considerable disminución en el pago por consumo a la compañía de suministro de energía eléctrica.

La eficiencia y un programa de administración de energía apoyarán al establecimiento de esquemas tarifarios más convenientes que permitan cubrir los costos de operación y mantenimiento; asimismo, en la medida de lo posible los gastos de inversión, el incremento de la eficiencia de los organismos y la implementación de mecanismos que permitan sanciones del servicio a quien no lo pague.

Lo resultados de este estudio contemplan, un diagnóstico del estado que guardan actualmente los equipos electromecánicos en el sistema, un proyecto de mejoramiento del sistema eléctrico de las instalaciones antes mencionadas, y por medio de la aplicación del estudio, incrementar la eficiencia, operar las instalaciones en forma adecuada, y reducir los costos de operación del sistema en términos de energía eléctrica.

^a Estudios preliminares de la Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Estudios y Proyectos.

Plantas de bombeo de agua potable

1.1 Funcionamiento de un sistema de agua potable

Cualquier población, por pequeña que ésta sea, debe contar como mínimo con los servicios de acueducto y alcantarillado, si se espera de ella un desarrollo social y económico.

Con el objeto de suministrar agua potable a una comunidad, es necesaria la construcción de una serie de obras hidráulicas para la captación, purificación, la conducción, el almacenamiento y la distribución del agua.

1.1.1 Aguas subterráneas

El agua subterránea es el recurso natural que el hombre ha utilizado con el fin de explotarlo para el abastecimiento a una comunidad, cuando por las características físicas de la región no se dispone de agua superficial de utilización factible.

Al depósito de agua se le suele llamar acuífero y se define como una formación geológica capaz de proporcionar agua en cantidad y calidad suficientes para las necesidades del hombre a un costo razonable.

En la naturaleza encontramos que el suelo presenta unas fisuras por donde se infiltran las aguas de lluvia, hasta que llegan a la zona de saturación. Cuando se hace un pozo en un terreno poroso, se comienza por atravesar los terrenos secos de la zona de aireación, antes de alcanzar las rocas de la zona de saturación, donde todos los huecos están llenos de agua. A partir de este nivel, el espacio perforado que forma el pozo se rellena también de agua y la cota alcanzada es justamente la de la superficie de saturación.

Para tener éxito, una obra de captación debe estar adaptada, a la vez, a las condiciones naturales del yacimiento y a las necesidades del consumo. Se debe considerar, para un caudal dado, por una parte, la amortización de las instalaciones y, por otra, la fuerza motriz necesaria para el bombeo. Se debe tener en cuenta, en el cálculo de las amortizaciones, que la supervivencia de la obra está limitada en la mayor parte de los casos por la corrosión subterránea, las incrustaciones y las colmataciones (rellenos sedimentarios).

La construcción de captaciones es especialmente onerosa a causa de la profundidad de la superficie de saturación, de las dificultades de acceso y de los gastos de bombeo que son muy elevados, mientras que el poder adquisitivo es escaso.

En todo caso, los gastos de captación gravan el precio del agua y es posible que las obras rústicas y modestas sean a menudo las más racionales, puesto que su duración es limitada. Ciertos equipos suplementarios aumentan el caudal y evitan el bombeo de arena, lo cual favorece la duración de la bomba, y serán rápidamente amortizados.

1.1.2 Esquema convencional de abastecimiento

Cualquier sistema de abastecimiento de agua a una comunidad, consta de los siguientes elementos:

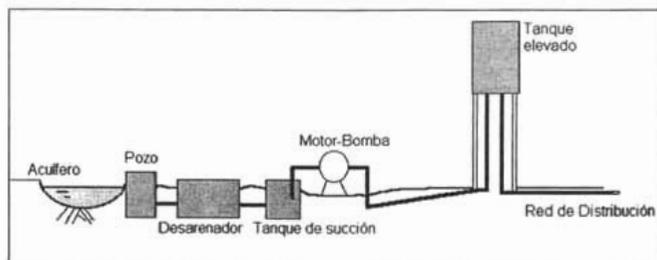


Figura 1.1 Esquema de un sistema de captación.

La fuente de abastecimiento de agua puede ser superficial, como en los casos de los ríos, lagos, embalses o incluso agua de lluvias, o *aguas subterráneas* superficiales o profundas. La elección del tipo de abastecimiento depende de factores tales como localización, calidad y cantidad.

1. Obras de captación

El tipo de estructura utilizada para la captación del agua depende en primer lugar del tipo de fuente de abastecimiento utilizado. En general, en los casos de captación de aguas subterráneas se hace por medio de pozos, como lo indica la figura 1.1, de tal manera que el equipo motor-bomba succiona el agua para entregarla a la red de conducción.

2. Obras de conducción

En un sistema existen numerosas conducciones de agua entre diferentes puntos, como por ejemplo cárcamo (pozo)–desarenador, desarenador-tanque de almacenamiento y línea matriz. Hidráulicamente estas condiciones pueden ser de diferentes formas, dependiendo de la topografía y la longitud de las mismas. Estas conducciones son generalmente por tubería a presión o por gravedad, por canales rectangulares o trapeciales abiertos o cerrados.

3. Tratamiento del agua

En la actualidad ningún tipo de agua en su estado natural es apta para el consumo humano; además, siempre se requerirá un tratamiento mínimo de cloración con el fin de prevenir la contaminación con organismos patógenos durante la conducción del agua.

4. Almacenamiento

Dado que el caudal de captación no es siempre constante y que el caudal demandado por la comunidad tampoco lo es, es necesario almacenar agua en un tanque durante los períodos en los que la demanda es menor que el suministro y utilizarla en los períodos en que la comunidad demanda gran cantidad del líquido.

5. Distribución

La distribución del agua a la comunidad puede hacerse por medio de un suministro único por medio de una piletta de agua, o por una forma más compleja por medio de una serie de tuberías o redes de distribución que llevan el agua a cada domicilio.

Por su bajo costo, sencillez de construcción y manejo, los sistemas primarios son más adecuados para poblaciones pequeñas pero estructuradas (municipios).

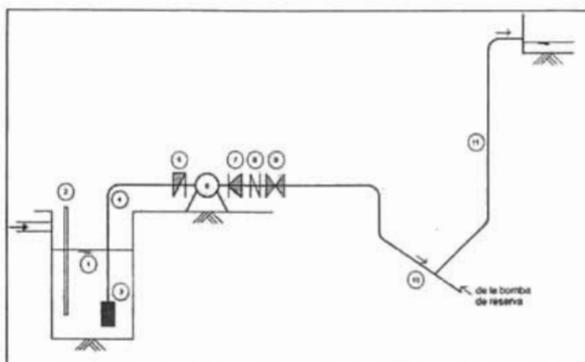


Figura 1.2 Esquema de una planta de bombeo.

Una planta de bombeo en general consta de los elementos que se ilustran en la figura 1.2 donde: 1.Pozo 2.Pantalla de quietamiento 3.Válvula de pie con coladera 4.Tubería de succión 5.Reducción excéntrica 6.Bomba-Motor 7.Ampliación concéntrica 8.Válvula de retención 9.Válvula de cortina 10.Te de unión a la bomba de reserva 11.Tubería de impulsión.

Dependiendo de las características del nivel dinámico y de las condiciones hidráulicas del depósito de agua, puede darse el caso de un acuífero artesiano (el agua mana a la superficie sin necesidad de la utilización de bombas), o de un acuífero que es recargado por la infiltración superficial, en cuyo caso hay necesidad de utilizar el bombeo, en general mediante bombas sumergibles.

1.2 Composición del sistema electromecánico de la planta de bombeo

Para lograr abastecer a la población de la localidad de agua potable es necesario captarla desde su origen, transportarla para tratarla y luego distribuirla; para esto es necesaria una herramienta que nos permita hacerlo, esta herramienta es el *equipo electromecánico* que es la base de la distribución junto con la obra hidráulica. Este equipo consta de tres grandes elementos: *el arrancador, el motor eléctrico y la bomba hidráulica.*

Los componentes electromecánicos que permiten el funcionamiento de una planta de bombeo se describen a continuación.

1.2.1 La bomba

Una bomba hidráulica es una máquina capaz de transformar energía, absorbiendo un tipo de energía y restituyéndola en otra forma de energía. En general, se considera el fluido que intercambia energía como de densidad constante y por lo tanto incompresible.

El bombeo se define como la adición de energía a un fluido para moverse de un punto a otro.

Porque la energía (cinética y potencial) es capacidad para hacer trabajo, adicionándola a un fluido obliga al fluido a hacer trabajo, normalmente fluyendo por una tubería o elevándose a un nivel más alto.

La bomba centrífuga es la utilizada normalmente para el bombeo de agua potable, es por esa razón que se describe a continuación.

Una bomba centrífuga es una máquina que consiste de un conjunto de álabes rotatorias encerradas dentro de una caja o coraza. Los álabes imparten energía al fluido debido a la fuerza centrífuga. Así, despojada de todos los refinamientos, una bomba centrífuga, tiene dos partes principales: (1) Un elemento giratorio incluyendo un impulsor y una flecha y (2) un elemento estacionario compuesto por una cubierta.

Las bombas centrífugas también se denominan "rotodinámicas" porque su movimiento es siempre rotativo. El elemento transmisor de energía, llamado *rodete*, transmite la energía mecánica suministrada por un motor al fluido en forma de energía cinética.

Los elementos siguientes son constitutivos de las bombas centrífugas, ilustrados en la figura 1.3.

1. Rodete: Está conectado con el motor de la bomba y gira con respecto al eje del mismo. Consta de varios álabes (paletas) que orientan el fluido dentro del rotor e imparten la energía cinética al fluido. El ángulo de los alabes depende del diseño de cada bomba.
2. Corona directriz: Consta de una serie de álabes fijos que amplían la sección de flujo gradualmente, transformando la energía cinética en energía de presión. Este elemento es opcional.
3. Caja espiral: Denominada también la carcasa, hace parte del sistema difusor y conduce el agua a la tubería de impulsión. En ella se realiza otra etapa de la conversión de la energía cinética en energía de presión.
4. Tubo difusor: Este elemento hace el empate entre la bomba y la tubería de impulsión. Puede ser recto o de forma tronco – cónica; en este último caso se realiza otra etapa de conversión de energía.

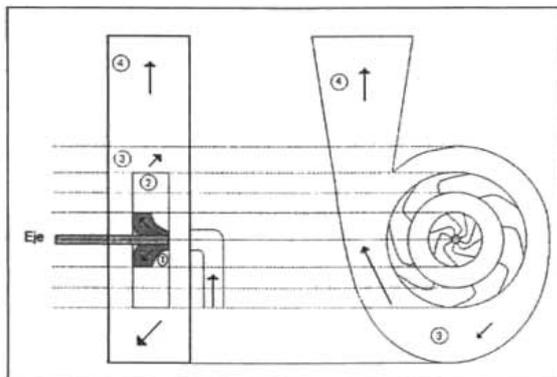


Figura 1.3 Elementos de una bomba centrífuga.

El impulsor de una bomba centrífuga descarga líquido a una velocidad alta. Una función de la cubierta de la bomba es reducir esta velocidad y convertir la energía cinética en energía de presión, ya sea por medio de una voluta o de un conjunto de paletas o álabes difusores.

1.2.2 El motor eléctrico

El motor transforma energía eléctrica en energía mecánica, a través de circuitos electromagnéticos. Los motores eléctricos tienen dos unidades básicas: el inductor, que crea el campo magnético y que suele ser un electroimán; y la armadura o inducido, que es la estructura que sostiene los conductores que cortan el campo magnético y transporta la corriente de excitación. La armadura es por lo general un núcleo de hierro laminado, alrededor del cual se enrollan los cables conductores.

Los motores empleados en el equipo electromecánico de las plantas de bombeo son motores trifásicos jaula de ardilla de ca, que son descritos a continuación.

Los motores de jaula de ardilla son los motores polifásicos más sencillos y los *más comúnmente usados* para mover bombas centrífugas. Tienen un embobinado primario (estator) devanado y devanado secundario de jaula de ardilla (rotor). Se presentan dos campos magnéticos, el del rotor es atraído por el estator. Si la construcción mecánica lo permite, los motores de jaula de ardilla pueden moverse en ambas direcciones. Se pueden invertir cambiando dos de las tres terminales de tres fases o las dos terminales de una fase de un motor de dos fases.

Abajo se da una lista de los tipos comunes de motores de jaula de ardilla:

1. Motores de torque normal, con corriente de arranque normal (NEMA¹, Clase A)
2. Motores de torque normal, con baja corriente de arranque (NEMA, Clase B)
3. Motores de alto torque de arranque y baja corriente de arranque (NEMA, Clase C)
4. Motores de alto torque de arranque y alto deslizamiento (NEMA, Clase D)
5. Motores de velocidades múltiples.

Dos tipos especiales de motores de jaula de ardilla son: de bajo torque y corriente normal de arranque y de bajo torque y baja corriente de arranque.

Las bombas centrífugas no requieren motores con altos torques de arranque; por lo tanto, los tipos (3) y (4) raras veces se usan para mover bombas centrífugas.

Los motores de jaula de ardilla de torque normal de tipos de corriente de arranque normal y baja, son los más comúnmente usados. Los tipos de torque normal y corriente de arranque normal pueden requerir algún tipo de equipo arrancador de bajo voltaje con objeto de ajustarse a los requisitos de límites de toma de corriente de arranque fijados por los servicios públicos. Para combatir este problema, la industria eléctrica ofreció el tipo de baja corriente de arranque, que con arranque de voltaje total no toma más corriente que el motor de corriente normal con un arrancador de voltaje reducido. Los motores empleados en este estudio utilizan arrancadores a tensión reducida tipo autotransformador.

¹ NEMA = National Electrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Manufactureros Eléctricos).

Los arrancadores de voltaje reducido con motores de corriente de arranque baja son necesarios en algunos casos para llenar los requisitos de fuerza donde el sistema es muy débil.

El motor de baja corriente de arranque completo con arranque completo con arrancador de voltaje total, ha llegado a ser más barato que una máquina de corriente de arranque y un arrancador de reducido.

El motor usado para la mayoría de las aplicaciones de bombeo es un tipo vertical con una armadura cerrada y con cojinetes de bolas soportados por ménsulas fijas a ambos lados de la armadura. El aislamiento y diseño eléctrico de éstos son apropiados para la mayoría de las aplicaciones para bombas.

1.2.3 El arrancador

El arrancador de un motor eléctrico lo conecta eléctricamente con la fuente de alimentación. Los arrancadores manuales mueven los contactores de arranque manualmente; los arrancadores automáticos o magnéticos los mueven automáticamente por medio de magnetos o recibiendo un impulso de un dispositivo piloto.

Los arrancadores para motores trifásicos de jaula de ardilla se hacen en tres tipos: de cierre, compensador o autotransformador y resistencia. Los dos primeros son más comunes que el último. Un arrancador de cierre o de voltaje total, aplica todo el voltaje a las terminales del motor, lo que da por resultado una alta corriente de arranque que depende del diseño básico del motor. En caso de que no se pueda usar un arrancador de voltaje total se emplea, por lo general, un arrancador de voltaje reducido que usa un autotransformador o compensador. Ese arrancador es básicamente un transformador devanado de manera que un voltaje reducido (generalmente 80% del voltaje de la línea) se pueda aplicar inicialmente a las terminales del motor. Cuando el motor alcanza una velocidad parcial, el arrancador se desconecta, y se aplica el voltaje total a las terminales del motor. Este tipo de arrancador limita la corriente tomada de la línea en proporción aproximada del cuadrado del voltaje aplicado. Por ejemplo, un motor con una corriente de arranque de 5.5 X su corriente de plena carga, iniciaría, con un arrancador autotransformador que diera 80% de voltaje, una corriente de la línea de $5.5 \times (0.8)^2$ ó 3.52 X corriente a plena carga.

Después de arrancarse, un motor de jaula de ardilla de tres fases, continuara trabajando en una fase si se desconectan las otras dos fases. Si se sostiene la misma carga en el motor, la corriente con la operación de una sola fase aumentará notablemente y puede dañarse el motor. Se debe incorporar alguna forma de protección por sobrecarga en cualquier instalación de estos motores.

1.2.4 La carga

Las cargas que son empleadas dentro del sector hidráulico se clasifican según lo siguiente:

Par variable
Par constante
Variables, cíclicas e intermitentes

Cargas de par variable. En este tipo de carga, el par aumenta a medida que la velocidad se incrementa al cuadrado, y la potencia aumenta en tanto la velocidad se incrementa al cubo. Esta carga es típica de bombas centrífugas. Las características de las cargas de par variable se muestran en la figura 1.4.

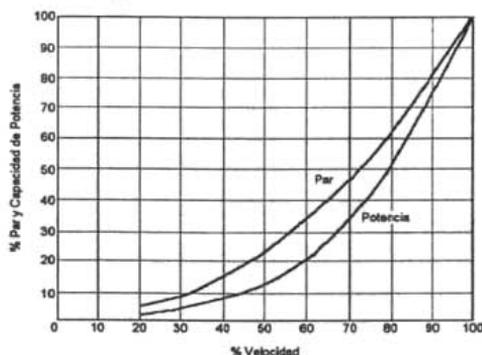


Figura 1.4 Características para cargas de par variable².

La selección de la capacidad nominal del motor de inducción cuando es alimentado por una fuente de poder no senoidal puede basarse en lo siguiente:

Motor estándar, reducido en un 80 o 90 % de su capacidad nominal de placa.

Motor estándar, con 1.15 de Factor de Servicio, no tiene reducción de capacidad.

Motor de alta eficiencia, que no tiene reducción en su capacidad.

Como la potencia requerida por la carga de par variable, aumenta a la vez que la velocidad se incrementa al cubo, el motor se sobrecargará si opera por encima de su velocidad nominal.

Cargas de par constante. El par del motor requerido para este tipo de carga es constante en el rango de operación, y no es una función de la velocidad. La potencia requerida del motor es proporcional a la velocidad de salida. Las características de este tipo de cargas están ilustradas en la figura 1.5. La selección de la capacidad de potencia del motor para una carga de par constante depende del rango de velocidad de operación continua.

1. Para rangos de velocidades de 2 a 1 (por ejemplo, 60-30 Hz) en operación continua.
 - a. Motores estándar reducidos 85% - 90% de la capacidad de placa.
 - b. Motores estándar clase F, con 1.15 de factor de servicio, y no tiene reducción de capacidad.
 - c. Motores de alta eficiencia que no tienen reducción en su capacidad nominal.
2. Para rangos de velocidad de 6 a 1, en operación continua (por ejemplo 600 - 10 Hz).
 - a. Motores estándar, aumenta dos tamaños de potencia nominal requerida.

² John C. Andreas Energy Efficient Electric Motors, Marcel Dekker, Inc, 1992, USA.

- b. Motores estándar, de aislamiento clase F, con 1.15 de factor de servicio, aumenta un tamaño de capacidad sobre la potencia base requerida.
- c. Motores de alta eficiencia, aumenta un tamaño sobre la capacidad base requerida.
- d. Para operaciones debajo de 10 Hz se requiere un enfriador para el motor.

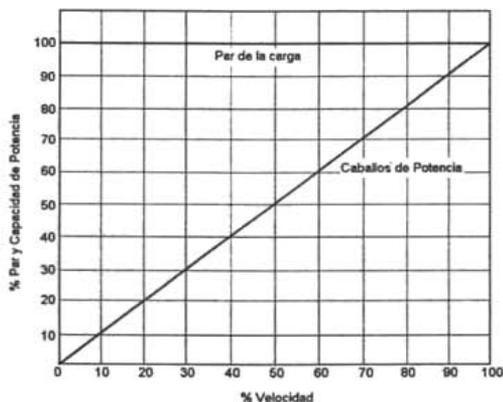


Fig 1.5 Características para cargas de par constante³.

Cargas de Potencia constante. El par de carga disminuye, así como la velocidad aumenta, y la potencia requerida permanece constante. El rango de operación se encuentra sobre la velocidad base (por ejemplo 60 Hz y velocidades más elevadas), por lo tanto, la velocidad base de un motor de inducción debe ser seleccionada de tal forma que la máxima velocidad de operación del motor no sea exagerada.

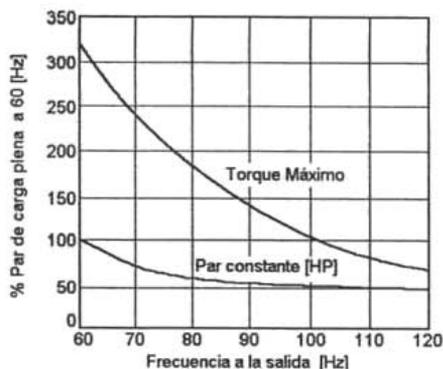


Figura 1.6 Desempeño de un motor de inducción de potencia constante³.

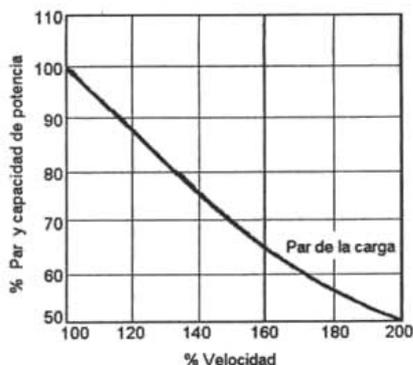


Figura 1.7 Características para cargas de 10 HP con un rango potencia constante³.

La figura 1.6 muestra la capacidad de operación de un motor de inducción de 10 HP en un rango de potencia constante (60 - 120 Hz), y la figura 1.7 ilustra las características de carga para una carga que requiere una potencia constante.

³ John C. Andreas Energy Efficient Electric Motors, Marcel Dekker, Inc, 1992, USA.

1.3 Eficiencia del equipo de bombeo

Una forma de conocer las condiciones en que operan los equipos es evaluando su eficiencia electromecánica a través de la medición de parámetros, tales como caudal de operación, nivel estático, nivel dinámico, corriente eléctrica, tensión eléctrica y factor de potencia, entre otros.

La eficiencia electromecánica de los equipos de bombeo, se define como la relación que existe entre la potencia cedida por el sistema como potencia hidráulica y aquella suministrada al sistema como potencia eléctrica.

Las bombas se agrupan de acuerdo a la capacidad expresada en l/s (litros / segundo); los motores que deben agruparse de acuerdo a la potencia nominal expresada en kilowatts kW (HP).

Las causas a las que se atribuyen las bajas eficiencias del sistema con las que operan en general los aprovechamientos del acuífero se atribuyen a:

- 1) Abatimiento del Nivel Dinámico.- Las variaciones en el nivel dinámico, provocan bajas en la producción de caudales, por lo que las bombas y los motores están trabajando a capacidades diferentes a las que originalmente fueron diseñados.
- 2) Selección del equipo de bombeo (eficiencia de los impulsores y número adecuado de tazones).- Una selección inadecuada de la bomba ocasiona que el caudal de extracción sea mayor o menor al programado, provocando que la carga a la que opera el motor no sea la correcta, derivando de esta forma lecturas muy altas o muy bajas en las eficiencias.
- 3) Selección del Motor Eléctrico (potencia necesaria del motor).- Los motores son diseñados para trabajar a una capacidad nominal y cuando éstos operan por debajo de su capacidad, se genera un factor de potencia bajo.
- 4) Mantenimiento Preventivo a las Bombas y Motores Eléctricos.- Cuando los equipos tienen un mantenimiento preventivo completo y continuo, se evitan desgastes en los accesorios de la bomba, debido al uso prolongado o por algún desajuste en los impulsores, mal alineamiento entre motor y bomba que produce vibraciones ocasionando desgastes innecesarios en las flechas y chumaceras, producción de material arenoso por colapsos en la tubería de ademe o por mal diseño en la selección de diámetros de las ranuras o del filtro de grava, que conllevan al incremento de consumos de energía eléctrica y disminución en los volúmenes de extracción, alterando con ello los beneficios esperados por los usuarios.
- 5) Calidad de la información. En muchos de equipos, la información resulta incongruente.

Una vez conocida la eficiencia electromecánica con la que trabaja el equipo, se estará en condiciones de determinar las causas que limitan su operación eficiente y en función de esto, proponer acciones para sustituir o rehabilitar, según sea el caso, con la finalidad de elevar la eficiencia de operación.

1.4 Factores que implican mayor consumo de energía eléctrica en los sistemas de bombeo.

El Sector Hidráulico demanda aproximadamente 13 100 GWh, que corresponden al 8.4% de la energía total suministrada por la Comisión Federal de Electricidad, los cuales son consumidos por los aproximadamente 400 000 motores que se encuentran en las siguientes instalaciones: 793 Plantas *Municipales* y 1399 *Industriales* de tratamiento de Aguas Residuales, 3 000 presas, 3 500 Plantas de Bombeo de Agua Potable, y poco más de 300 000 Pozos⁴; por lo que la operación y conservación de estos equipos electromecánicos, representa uno de los campos más fértiles para el ahorro de energía eléctrica.

Este sector gasta más de 2 000 millones de pesos anualmente⁴ por consumo de energía eléctrica; en parte porque existen equipos que operan en forma ineficiente, algunos con muchos años de operación y con parámetros que difieren de sus valores nominales de placa; además de la existencia de instalaciones con deficiencias operativas, como es el caso del acueducto Acahuizotla, que es el tema de este estudio.

Existen factores que incrementan el consumo de energía eléctrica, los cuales se enuncian a continuación.

1.4.1 Armónicas

Las armónicas son los múltiplos enteros de la frecuencia natural (número ciclos por segundo). Los voltajes y corrientes armónicas son múltiplos exactos de la frecuencia fundamental, que en este caso es de 60 Hz.

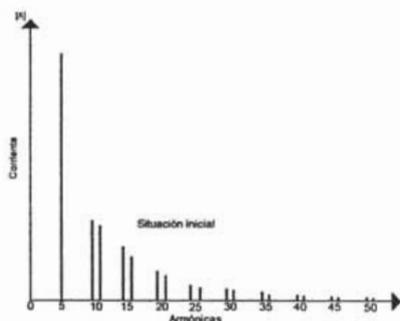


Figura 1.8 Espectro de una señal de corriente con distorsión.

Las armónicas se presentan en pares, y la intensidad de corriente que comprenden es considerable, en comparación con la espiga fundamental. La espiga fundamental tiene la frecuencia fundamental y tiene la mayor intensidad de corriente. Se muestra en la figura 1.8, el diagrama de espectro de una señal, cuya corriente está afectada por las armónicas 5, 10, 15, etc.

Estas armónicas causan una distorsión en la onda senoidal original de la señal de línea de alimentación de los equipos instalados.

Las armónicas distorsionan la forma original de onda del voltaje y la corriente suministradas. Los motores están diseñados para operar utilizando una señal a 60 Hz y una forma de onda sinusoidal. Utilizar la energía con una forma de onda distorsionada disminuirá la eficiencia del motor.

⁴ Comisión Nacional del Agua, Coordinación de proyectos electromecánicos, 2002.

La distorsión armónica en la red de corriente alterna puede ocasionar inconvenientes tales como:

- Abatimiento del factor de potencia.
- Ruido excesivo y sobre-calentamiento de transformadores y motores eléctricos.
- Velocidad súbita inexplicable en equipos de bombeo.
- Exceso de corriente en capacitores.
- Sobre-calentamiento o falla de capacitores de corrección de factor de potencia.
- Sobrecalentamiento de cables.
- Aumento en las pérdidas por inestabilidad del sistema.
- Operación inestable en el disparo de circuitos que trabajan por cruce por cero de tensión.
- Envejecimiento prematuro del equipo.
- Fallas en el aislamiento de los conductores.
- Oscilación mecánica en máquinas.
- Disparo intempestivo de interruptores y otros equipos de protección.
- Errores en equipos de medición, especialmente los de estado sólido.
- Error en los medidores de la compañía suministradora, que indican exceso de energía consumida.
- Resonancia con otros componentes del sistema.
- Daños a equipos sensibles.
- Interferencia con circuitos de iluminación y telefónicos.
- Fallas de computadora.

1.4.2 Factor de potencia

En los sistemas de corriente alterna, el flujo de corriente se invierte o alterna periódicamente. El voltaje y la corriente varían en cantidad y dirección con el tiempo. La corriente y el voltaje pueden alcanzar su máximo al mismo tiempo, o el máximo de la corriente puede ir adelante o atrás del máximo del voltaje, un ángulo φ (0° - 90°). La medida de este adelanto o retraso se llama el factor de potencia $FP = \cos \varphi$; puede variar de 0 a 1.0 o de 0 a 100%. Existe una constante K que es el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente [kW / kVA], vale 1.0 para sistemas de una fase, 2.0 para sistemas de dos fases y cuatro alambres, y 1.732 para sistemas de tres fases; que se aplica a la ecuación de potencia (o fuerza) en kilowatts: (volts) (amperes) (factor de potencia) (K / 1 000). La potencia trifásica real es $P = \sqrt{3} VI \cos \varphi$, donde $\cos \varphi$ es el factor de corrección ó factor de potencia.

La "Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica" ha establecido que el valor de FP mínimo aceptable debe ser de 0.90. En el inciso 1.5.2.4 se indica la corrección.

Operar con un bajo FP tiene varias implicaciones, como son el incremento del pago de la energía eléctrica y la disminución de la capacidad de los equipos para transformar y la energía eléctrica. Los motores producen un bajo FP especialmente cuando trabajan por debajo de 50% de carga.

Inconvenientes de un bajo FP

Las figuras 1.9 y 1.10 ilustran el efecto del factor de potencia sobre la capacidad del motor y transformador. Cuando se tiene un factor de potencia de 0.70, la capacidad del motor cae al 65%, y la del transformador con ese mismo ⁵FP cae al 93%.

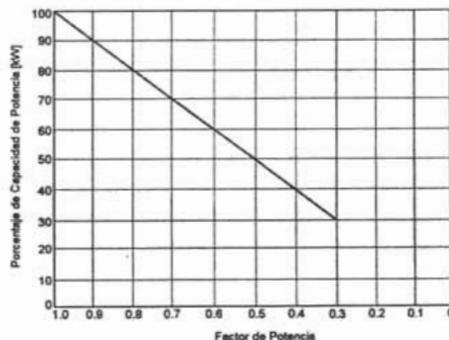
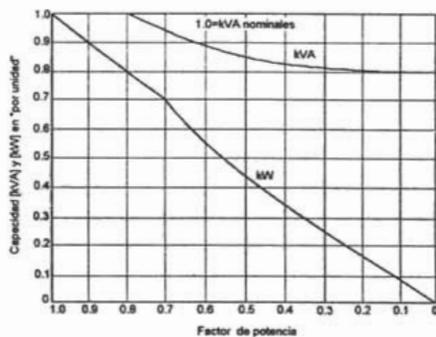


Figura 1.9 Efecto del FP sobre la capacidad del motor y del transformador⁵.

Figura 1.10 Efecto del FP sobre la capacidad del transformador⁵ (kW).

Operar con un bajo factor de potencia una instalación eléctrica, además del impacto en el pago de electricidad, tiene otras implicaciones de igual o mayor significación, particularmente en relación con la capacidad de los equipos de transformación, distribución de la energía eléctrica y con el uso eficiente de las máquinas eléctricas.

Un bajo FP significa energía desperdiciada y afecta la adecuada utilización del sistema eléctrico, por esta razón en las tarifas eléctricas, la Compañía suministradora, ofrece una bonificación en la factura de energía eléctrica por un FP mayor a 90%, y así también impone cargos por un FP menor al 90%. En la tabla 1.1 se muestran las expresiones para calcular los porcentajes de bonificación y recargo, que por factor de potencia, se aplica a los cargos por consumo y demanda máxima de energía. En las fórmulas el factor de potencia (FP) está expresado en porcentaje.

Concepto	Fórmula	% máx. aplicable
Bonificación	$\frac{1}{4} \left(1 - \frac{90}{FP} \right) 100$	2.5
Recargo	$\frac{3}{5} \left(\frac{90}{FP} - 1 \right) 100$	120

Tabla 1.1 Bonificación y recargos según el FP.

De acuerdo con la tabla 1.1, un usuario que opera con un factor de potencia de 80%, tiene que pagar un recargo del 7.5% sobre el monto de su cuenta de electricidad. Este recargo puede alcanzar hasta un 120% en el caso extremo de tener un factor de potencia del 30%.

⁵Energy Efficient Electric Motors, John C. Andreas, Marcel Dekker Inc, 1992.

Un bajo factor de potencia reduce la eficiencia del sistema eléctrico de distribución y causa efectos de manera negativa en tres formas típicas:

- Pérdidas por calentamiento (efecto Joule).
- Caída de tensión.
- Sobrecarga de transformadores.

La potencia real se designa usualmente como potencia activa, y el factor de corrección $\cos \phi$, como factor de potencia (FP). El exceso de corriente debido a un bajo factor de potencia, puede obligar a utilizar conductores de mayor calibre y por lo tanto más caros, e incluso en la necesidad de invertir en nuevos equipos.

Factor de potencia con cargas no lineales

Las cargas no lineales son elementos formados por semiconductores, que aumentan la complejidad para corregir el factor de potencia del sistema. Los elementos no lineales son utilizados en dispositivos tales como:

- Rectificadores (convertidores).
- Sistemas ajustables de frecuencia en corriente alterna.
- Arrancadores de estado sólido.
- Motores de CD.

Dos componentes de potencia contribuyen a la potencia total, y la resultante es el FP: la componente real o activa, expresada en kilowatts, y la componente reactiva, expresada en kilovars.

El factor de potencia total está compuesto por tres componentes ilustradas en la figura 1.11:

1. Componente activa: Es la hipotenusa al ángulo ϕ del triángulo de potencias expresada en kilowatts.
2. La componente de desplazamiento: de los elementos fundamentales reactivos expresado en kilovars. Corresponde al cateto adyacente del triángulo de potencias.
3. La componente armónica: El resultado de las armónicas y la corriente sinusoidal distorsionada y la forma de onda del voltaje generados cuando un semiconductor de potencia es usado en el circuito. Es el cateto opuesto al ángulo ϕ .

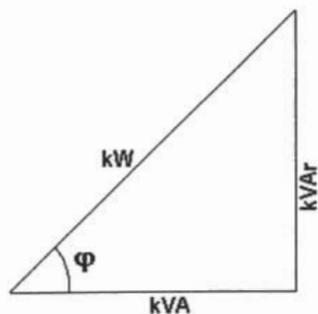


Figura 1.11 Triángulo de potencias.

El $\cos \phi$ es el factor de potencia.

El efecto de estas cargas en el sistema de distribución, depende de: la magnitud de las armónicas generadas por las cargas, el porcentaje de la carga total de la planta que esté generando armónicas, y la razón de corriente de corto circuito disponible a la corriente de carga fundamental nominal.

1.4.3 Pérdidas de potencia

No toda la energía eléctrica que un motor recibe se convierte en energía mecánica. En el proceso, se presentan pérdidas, por lo que la eficiencia nunca será del 100%. Si las condiciones de operación de un motor son incorrectas o éste tiene, algún desperfecto, la magnitud de las pérdidas, puede superar con mucho las de diseño, con la consecuente disminución de la eficiencia.

La eficiencia o rendimiento de un motor eléctrico es una medida de su habilidad para convertir la potencia eléctrica que toma de la línea en potencia mecánica útil. Se expresa usualmente en por ciento de la relación de la potencia mecánica entre la potencia eléctrica.

No toda la energía eléctrica que un motor recibe, se convierte en energía mecánica. En el proceso de conversión, se presentan pérdidas, por lo que la eficiencia nunca será del 100%. Si las condiciones de operación de un motor son incorrectas o este tiene algún desperfecto, la magnitud de las pérdidas, puede superar con mucho las de diseño, con la consecuente disminución de la eficiencia.

Para calcular la eficiencia, las unidades de las potencias deben ser iguales. Como la potencia eléctrica se expresa en Kilowatts, en tanto que la potencia mecánica en caballos de potencia, las siguientes equivalencias son útiles para la conversión de unidades:
 $0.746 \text{ kW} = 1 \text{ CP}$ $1 \text{ kW} = 1.34 \text{ HP}$

Si tenemos un motor de 100 CP que toma de la línea 87.76 kW, tenemos que su potencia mecánica es de $100(0.746)=74.6 \text{ kW}$
Su eficiencia sería de $(74.6/87.76)(100) = 85\%$
Las pérdidas serían $87.76-74.6 = 13.16 \text{ kW}$

Esto significa que el motor convierte el 85% de su energía eléctrica en mecánica, perdiendo el 15% en el proceso de conversión. En términos prácticos, una razón de esto es: que se gasta (y se paga) inútilmente 15 centavos por cada peso que se utiliza para hacer funcionar al motor.

Emplear motores de mayor eficiencia, reduce las pérdidas y los costos de operación. Los incrementos que han experimentado el costo de los energéticos a nivel mundial, han orientado a los fabricantes de motores a lograr principalmente motores de alta eficiencia, con rendimientos de hasta un 96% y cuyo costo adicional sobre los convencionales se puede pagar rápidamente con los ahorros que se tienen en el consumo.

Por calentamiento

La potencia que se pierde por calentamiento está dada por la expresión I^2R , donde I es la corriente total y R la resistencia eléctrica de los equipos: bobinados en transformadores, conductores de los circuitos de distribución, etc. Como un bajo factor de potencia implica un incremento en la corriente total, debido al aumento de su componente reactiva, las pérdidas aumentan de manera significativa. Cuando el motor está fuera de operación la reactancia inductiva es alta en comparación con la resistencia, por lo tanto el FP es bajo, una vez que empieza a girar la máquina, la reactancia inductiva va disminuyendo, el FP mejora, así mismo la velocidad y por consecuencia el par mecánico.

Los conductores se seleccionan por su ampacidad, caída de tensión y por corto circuito. Al circular una corriente se genera calor, esta energía calorífica se expresa como:

$$P_d = I^2R$$

Donde:

P_d : Potencia disipada en forma de calor [W]

I: corriente en el conductor [A]

R: resistencia del conductor [Ω]

La corriente que circula en los conductores genera calor, el cual se disipa a través del aislamiento; esto es, la temperatura del conductor debe mantenerse dentro de la temperatura inicial de operación es decir: I^2R , en el conductor debe ser constante. Significa que si la corriente I se duplica, la resistencia R se reduce a un cuarto, implicando que la sección transversal del conductor debe ser cuatro veces más grande; Por lo tanto, el área transversal del cable es proporcional al cuadrado de la corriente. Estas relaciones podemos representarlás en la tabla 1.2, donde P_{PU} significa en por unidad.

I_{PU}	FP_{PU}	Área requerida
1	1	1
1.052	0.95	1.107
1.110	0.90	1.234
1.176	0.85	1.383
1.250	0.80	1.562
1.333	0.75	1.777

Tabla 1.2 Comparación del calibre del conductor cuando se tiene exceso de corriente.

Se incrementa la temperatura afectando el aislamiento de los equipos y provocando con ello disminución en la eficiencia y ahorro de energía. Por lo tanto, entre mayor sea la corriente en el equipo y en cables, mayores serán las pérdidas; por ello se recomienda tener un factor de potencia adecuado con objeto de tener menor pérdida de energía. En los conductores la energía calorífica se disipa por: transmisión de calor, radiación, conducción y convección.

Si los motores de inducción fueran operados en vacío o con baja carga, se produciría una reducción del factor de potencia, lo que provocaría sobre-calentamiento en los equipos e instalaciones. Lo recomendable es operar los equipos a su máxima capacidad en $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{4}$ de su potencia, así se obtiene el máximo rendimiento de éstos. La operación de equipos específicos para servicio continuo, debe ser en forma regular, sin arranques ni paros frecuentes. Por norma en el arranque un motor necesita seis veces la corriente nominal de placa, así es que esto interviene en la elección de los conductores $I_{nom} = 125\%$.

kWcarga	FP	KVA Transformador
1	1.0	1.0
1	0.90	1.11
1	0.80	1.25
1	0.70	1.43
1	0.50	1.67

Tabla 1.3 Valores de potencia a carga real unitaria de un transformador.

Si considera una carga real unitaria con valores de factor de potencia diferentes, los valores de potencia que requerirá el transformador serán los mostrados en la tabla 1.3:

Sabemos que:

$$I = \frac{P}{(\sqrt{3})(V)(FP)\eta}$$

Donde:

I : Corriente que circula en los conductores

FP: Factor de potencia de la carga

V: Tensión de operación de la carga

η : Eficiencia de la carga

P: Potencia real de la carga

En esta expresión, se indica que la corriente I es inversamente proporcional al Factor de Potencia.

Por distribución

Dentro de un rango limitado, las pérdidas del motor son independientes unas de otras, sin embargo, al tratar de hacer mayores mejoras en la eficiencia, uno encuentra que las pérdidas son dependientes entre ellas. El diseño final de un motor es un balance entre varias pérdidas para obtener una alta eficiencia y seguir conociendo otros criterios de desarrollo, incluyendo par a rotor bloqueado, amperaje a rotor bloqueado, par de deslizamiento, y el factor de potencia. Se definen básicamente en pérdidas magnéticas, mecánicas y eléctricas.

		Componentes de pérdida del motor	Porcentaje de pérdidas totales
Eléctricas	→	Pérdida de potencia en el estator	37
Magnéticas	→	Rotor	18
Mecánicas	{	Fricción y ventilación	9
		Por inestabilidad de la carga	16
		Otras pérdidas	20

Tabla 1.4 Pérdidas en cada componente del motor⁶.

En la tabla 1.4 se ilustra el porcentaje de pérdidas que tiene cada componente del motor. Se observa que la potencia perdida en el estator es mayor que las pérdidas en los demás componentes.

HP	Eficiencia original (%)	Eficiencia incrementada (%)	Reducción de las pérdidas de potencia requerida (%)
1	73.0	74.0	8
5	83.0	84.0	11
25	90.0	90.0	16
50	91.5	91.5	19
100	92.5	92.5	28
200	94.0	94.0	38

Tabla 1.5 Decremento de pérdidas y aumento de eficiencia en motores de inducción.

Estas pérdidas de distribución indican el significado de cambios en el diseño para incrementar la eficiencia eléctrica en el motor, sin embargo, como la eficiencia del motor-

⁶ John C. Andreas Energy Efficient Electric Motors, Marcel Dekker, Inc, 1992, USA.

y la potencia aumentan, el nivel de dificultad para mejorar la eficiencia disminuye. La tabla 1.5 muestra las reducciones de pérdidas que pueden alcanzarse incrementando la cantidad de material, por ejemplo, alambre magnético en el devanado del estator y conductores de aluminio en el rotor de un devanado jaula de ardilla. Sin embargo una reducción del 5 - 15% se puede lograr en estas pérdidas de potencia sin hacer otras modificaciones.

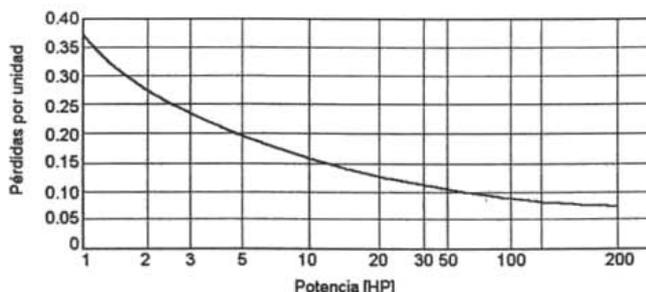


Figura 1.12 Pérdidas en "por unidad" de motores estándar diseño B, 4 polos, trifásicos⁷.

El nivel de dificultad y consecuentemente el costo de elevar la eficiencia del motor, se incrementa cuando la capacidad de potencia nominal es pequeña. Esto está ilustrado en la figura 1.12, la cual muestra el decremento en "por unidad" de pérdidas, cuando la capacidad de potencia aumenta.

1.4.4 Reducción de la capacidad de motores

Por variación de voltaje

Durante la operación de los motores eléctricos se presentan voltajes superiores e inferiores al especificado en su placa. El estándar de la Asociación Nacional de Manufactureros Eléctricos (NEMA), reconoce el efecto de la variación del voltaje y frecuencia, en el desempeño de los motores eléctricos. El estándar recomienda que la variación del voltaje de línea no exceda $\pm 5\%$ respecto al voltaje nominal.

El operar las instalaciones con altas caídas de tensión implican pérdidas de energía, debido al incremento de corriente para mantener la potencia del equipo constante. Las referencias de los estándares de NEMA de tensiones nominales para motores trifásicos, 60 Hz es la siguiente:

Tensión nominal del sistema	Tensión nominal del motor
208	200
240	230
480	460

Tabla 1.6 Tensiones nominales para motores trifásicos.

- a) Tensión entre 90-110% del nominal.
- b) Frecuencia entre 95-105% de la nominal.

⁷ John C. Andreas Energy Efficient Electric Motors, Marcel Dekker, Inc, 1992, USA.

c) Variaciones combinadas de tensión y frecuencia cuya suma no rebase el 10% de los valores nominales, siempre y cuando la variación de frecuencia no sea mayor de $\pm 5\%$ de la nominal.

Un cierto grado de confusión podría existir acerca del voltaje nominal de los motores, ya que el voltaje nominal y el voltaje del sistema son diferentes. El voltaje nominal ha sido seleccionado para concordar con el voltaje de utilización disponible en las terminales del motor. Este voltaje permite caídas de tensión en el sistema de distribución de potencia y para las variaciones de voltaje cuando la carga del sistema cambia.

La eficiencia del motor que opera a plena carga, no se altera en forma notable con ligeras variaciones de tensión. En cambio si la carga es menor, las variaciones de tensión se traducirán en un "decremento" significativo de la eficiencia. Los motores de alta eficiencia son más tolerantes a las variaciones de voltaje gracias a su diseño y construcción.

Para proteger un motor de problemas tales como: *alta y baja tensión*, sobrecorrientes, sobrecargas, corriente de corto circuito, inversión de fase (no muy frecuente), falla de fase, es necesario instalar en el sistema un relevador de protección integral, número 52, interruptor de circuito A.C. que es un elemento utilizado para abrir o cerrar un circuito de A.C. en condiciones normales o interrumpe el circuito por falla o emergencia.

Por voltaje desbalanceado

Los voltajes de las fases del sistema deben ser casi iguales. El desequilibrio de las fases del sistema, no debe exceder en ningún caso el 5%; operar en rangos superiores no es recomendable, ya que se presentan incrementos de temperatura y por consiguiente, pérdidas de energía y baja eficiencia; por lo que operar en la vecindad del 1% es lo más recomendable; de esta manera se incrementa la eficiencia y como consecuencia menor consumo de energía.

El voltaje desbalanceado puede ser más perjudicial que la variación de voltaje para el desempeño y la vida del motor. Cuando los voltajes de línea que son aplicados a un motor trifásico no son iguales en magnitud y en ángulo de fase, se presentan corrientes desbalanceadas en el estator. Un pequeño porcentaje de voltaje desbalanceado producirá un porcentaje mucho mayor de corriente desbalanceada.

Algunas causas del voltaje desbalanceado son las siguientes:

1. Un circuito abierto en el sistema primario de distribución.
2. Una combinación de cargas de una fase y tres fases en el mismo sistema de distribución, con las cargas de una sola fase desproporcionalmente distribuidas.
3. Un sistema Y-delta abierto.
4. Un sistema delta-delta abierto: Cuando los dos transformadores son abastecidos por medio de conductores trifásicos, la única diferencia está en la falta de impedancia neutral; entonces, bajo condiciones comunes, la configuración delta - delta mostrará un desempeño superior al de la configuración abierta Y-delta.

Se recomienda la conexión delta-Y. Cuando hay impedancias de línea desproporcionadas o inusualmente líneas de abastecimiento muy grandes, hay observaciones adicionales:

- a. Se presentan efectos mezclados con la variación de líneas que alimentan a las cargas de una fase.
- b. Un incremento de la impedancia de la línea de abastecimiento primaria, resulta un incremento de voltaje y corriente desbalanceados.

Los voltajes de línea desbalanceados, introducen voltajes de secuencia inductiva negativa en el motor trifásico. Este voltaje de secuencia negativa produce un flujo de aire rotando en dirección opuesta al rotor, produciendo así, altas corrientes en el motor. Un pequeño voltaje de secuencia negativa puede producir corrientes excesivas en comparación con aquéllas que están presentes bajo condiciones de voltaje balanceado.

El estándar MG 1- 14.34 de NEMA define el porcentaje de voltaje desbalanceado como sigue:

$$\% \text{ Desbalance de voltaje} = \frac{\text{máx desviación respecto al voltaje promedio}}{\text{Voltaje promedio}}$$

Los desbalances de voltaje producen corrientes desbalanceadas del orden de 6 a 10 veces el voltaje desbalanceado. Como consecuencia, la temperatura aumenta, el gran desbalance de corriente produce temperaturas desiguales en las bobinas del motor. Un 5% de desbalance de voltaje, produce un desbalance de la corriente del orden del 40%.

El efecto del voltaje desbalanceado afecta a las siguientes características del motor:

- Par
- Velocidad a carga plena
- Corriente a rotor bloqueado
- Ruido y vibración

Reconociendo el efecto perjudicial de los voltajes de línea desbalanceados en la operación del motor, NEMA recomienda aplicar motores de reducción de capacidad a los sistemas desbalanceados. Esto se indica en la figura 1.13.

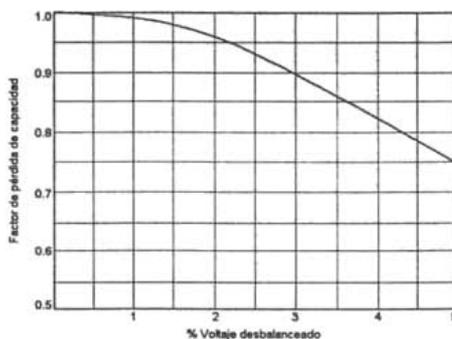


Figura 1.13 Factor de pérdida de capacidad (derating factor) en motores trifásicos con voltaje desbalanceado⁸.

⁸ John C. Andreas Energy Efficient Electric Motors, Marcel Dekker, Inc, 1992, USA.

Cuando se aplica el Factor de Reducción de capacidad de potencia nominal, la selección e instalación del elemento de sobrecarga debe tenerse en cuenta en combinación con el Factor de reducción aplicado al motor y el incremento de corriente resultante de los voltajes desbalanceados.

Este es un problema complejo, ya que involucra la variación de la corriente del motor como una función del voltaje desbalanceado y la carga; además de las características del elemento de sobre carga relativas a la corriente $I_{\text{máxima}}$ o I_{promedio} .

En ausencia de información específica, se recomienda que los elementos de sobrecarga sean seleccionados y/o ajustados al valor mínimo que no haga que el factor de reducción de potencia nominal y el voltaje desbalanceado se disparen.

Cuando los voltajes desbalanceados se anticipan, se recomienda que los elementos de sobrecarga se seleccionen conforme a la $I_{\text{máxima}}$.

Como se denotó anteriormente, la desviación de corriente en rotor y estator de 6 a 10 veces mayor que el porcentaje de desbalance en el voltaje producirá un incremento en las pérdidas de energía en el conductor, temperatura excesiva en el aislamiento por lo tanto ocasionará una reducción en la vida útil, menor "par máximo" y de rotor bloqueado; y la velocidad a plena carga, también se reducirá ligeramente.

El incremento de temperatura causado por la presencia de voltaje desbalanceado, es dos veces el cuadrado del porcentaje de voltaje desbalanceado. Se puede evitar balanceando el voltaje o instalando motores con sistemas de enfriamiento, los actuales contienen disipadores en su armazón.

$$\% \Delta T = \left[2 \left(V_{\text{desb}} \right)^2 \right] 100$$

Donde:

$\% \Delta T$: Porcentaje del incremento en la temperatura del motor.

V_{desb} : Voltaje desbalanceado

Si la operación es a carga plena, la elevación de temperatura esperada causada por voltaje desbalanceado es:

$$T_{V_{\text{desb}}} = T_{\text{régimen}} \left(1 + \frac{\% \Delta T}{100} \right)$$

Donde:

$T_{\text{régimen}}$: Elevación de temperatura esperada (tabla NEMA MG 1- 12.41)

$T_{V_{\text{desb}}}$: Elevación de temperatura esperada debida al voltaje de desbalanceo °C.

El efecto de exceso de temperatura durante la operación del motor sobre la vida del aislamiento eléctrico, está basado en la regla de los 10°C, que dice que la vida del aislamiento se reduce a la mitad por cada 10 °C de reducción de temperatura.

$$VR = \frac{1}{2^{(\delta T / 10)}}$$

Donde:

VR : Vida relativa del aislamiento

$\delta T = T_{\text{vdesb}} - T_{\text{regimen}}$

Si un motor tiene una vida esperada de 10 años, operando con la misma carga de régimen, pero con una fase desbalanceada que cause un $\delta T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, tendrá una vida relativa (VR) de 0.35.

La vida esperada del aislamiento, suponiendo operación continua en la mayor temperatura, sería $(0.35)^{-1} (10) = 3.5$ años.

1.4.5 Sobredimensionamiento

Sobredimensionar significa instalar un equipo con capacidad de potencia excedida para la carga que manejará. Las desventajas de esta práctica son:

Baja eficiencia
Bajo factor de potencia
Alto precio del motor

Alto precio del tablero
Alto precio del arrancador
Alto precio de instalación

Si comparamos un motor de 40HP que se escogió en base a su carga pico, contra un motor de 30HP seleccionado en base a su ciclo de trabajo, tenemos los siguientes costos:

- Motor⁹: lista de precios de un motor TECF, vertical, de 1800 rpm a prueba de humedad.
30 HP = \$1160 usd
40 HP = \$1446 usd
- Control: Un motor NEMA -1 de propósito general, arrancador 240 V.
30 HP tamaño 3 = \$600 usd
40 HP tamaño 4 = \$1350 usd

Estos resultados muestran una diferencia de costo de \$1036 usd, o 59%.

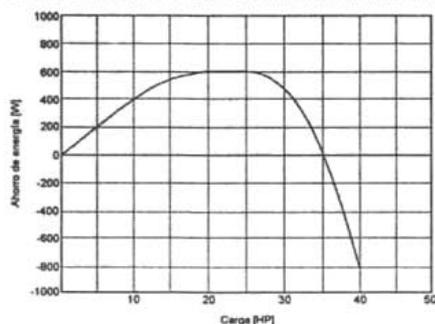


Figura 1.14 Ahorro de energía¹⁰ [W].

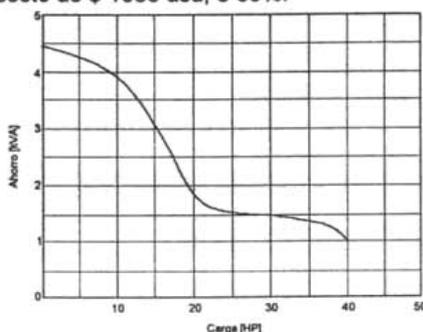


Figura 1.15 Ahorro de energía¹⁰ [kVA].

La figura 1.14 muestra la diferencia en la entrada [W], y la figura 1.15 muestra la diferencia en la entrada [kVA] para motores de 30 y 40 HP de potencia operando con la misma carga. En cargas superiores a 36 HP, la entrada es más favorable para el motor de 40 HP sin embargo a cargas inferiores a 36 HP, las entradas en [kW] y [kVA] son más bajas con un motor de 30 HP.

⁹ usd \$9.95, septiembre 12, 2002

¹⁰ John C. Andreas Energy Efficient Electric Motors, Marcel Dekker, Inc, 1992, USA.

En general, entre mayor sea la diferencia entre la carga real del sistema y la capacidad nominal del motor, mayores serán los requerimientos de potencia reactiva, debido al abatimiento del FP.

1.4.6 Equipos de bombeo fuera de operación

En algunos sistemas es común ver equipos fuera de operación, lo cual trae como consecuencia que el usuario no pueda cumplir con los valores de carga y demanda requeridos en el contrato con la compañía de suministro, por lo que se les aplica un cargo mínimo mensual, dependiendo del tipo de tarifa contratada.

Es importante cuidar este aspecto, por lo que se recomienda realizar periódicamente un análisis de carga y si es necesario proceder a la realización de un nuevo contrato a causa del cambio de características de carga, que implique la aplicación de otra tarifa de suministro.

Los problemas que enfrentan las plantas de bombeo, son frecuentemente por baja eficiencia operativa, deficiente nivel de servicio, bajo índice de aprovechamiento de la infraestructura y por tener instalaciones inconclusas de acuerdo al proyecto original; esto trae como consecuencia que los sistemas electromecánicos no operen al 100 % de su capacidad y estén sobredimensionados.

En el caso extremo de tener equipos fuera de operación por un período, se debe cancelar el contrato para evitarse los cargos por consumo mínimo de energía, que establece la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

1.5 La optimización en la administración de la energía eléctrica

El Ahorro de energía es el esfuerzo por reducir la cantidad de energía para usos industriales y domésticos. El bajo rendimiento con el que generamos nuestra energía, hace pensar que los futuros adelantos en el rendimiento de la energía serán el resultado tanto de nuevos avances tecnológicos como de la reducción consciente del consumo de energía.

La demanda creciente de combustibles fósiles y los daños por la contaminación derivados de su utilización han motivado llamadas de atención para ir avanzando hacia un desarrollo sostenible, un concepto que apoyan políticos de muchos países. La enorme dificultad para conseguir esta meta ha sido menospreciada a menudo. El Consejo Mundial de la Energía estima que las fuentes de energías renovables sólo podrán aportar un 30% de la demanda mundial en el año 2020 (aunque la cifra podría llegar a un 60% para el año 2100).

Por esta razón, la Unión Europea ha llevado a cabo numerosas iniciativas para estimular el ahorro de energía, estimando posible lograr un ahorro del 20%.

El Consejo Mundial de la Energía ha aconsejado una reducción de la intensidad de la energía para el futuro en distintas zonas, teniendo en cuenta la cantidad de energía necesaria para producir una unidad del producto interior bruto (PIB). En un informe de 1993, el Consejo Mundial de la Energía publicó sus estimaciones para un uso eficaz de-

la energía, situándolo en un 3 o 3.5% para los países medios, un 4-5% para Europa occidental y Japón, y sólo un 2% para Estados Unidos.

Como país en vías de desarrollo con importantes rezagos en materia económica y social, es de suma importancia asumir con plena responsabilidad el consumo moderado de la energía eléctrica.

1.5.1 Descripción de la administración de energía eléctrica

El ahorro de electricidad se puede conseguir mediante sistemas avanzados de control de potencia, la instalación de motores eléctricos modernos para bombas, mecanismos motores; se debe evitar la penalización por medio del usuario que supone el uso de energía en momentos de máximo costo, utilizando las tarifas reducidas para ahorrar dinero.

La conservación de la energía sólo se puede conseguir si se introduce un plan de gestión de la energía con un seguimiento riguroso y metas de progreso. La motivación de la mano de obra es esencial y sólo es posible si existe un compromiso abierto al más alto nivel. La mejora en la conservación de la energía es un problema tanto técnico y financiero.

No hay duda de que se debe hacer un uso más eficaz de los recursos energéticos del mundo en el futuro, si se quiere satisfacer la demanda creciente de energía de una población en rápido aumento e industrialización. La presión sobre los recursos limitados de combustible y los niveles crecientes de la población requieren una respuesta urgente.

Es más económico y redituable para el sector hidráulico, el ahorrar y usar racionalmente la energía; además, rehabilitar con este ahorro, aquellas instalaciones electromecánicas fuera de operación o en malas condiciones. Las mejoras de la eficiencia energética no solamente convierten las instalaciones en unas más óptimas, sino que producen un beneficio económico a largo plazo.

La demanda de energía eléctrica es creciente para el sector industrial que requiere de 230 GWh en el sector hidráulico, que en el tratamiento de aguas residuales requiere de 59 GWh. El 68% del tratamiento de aguas residuales y el 94% del suministro de agua potable a localidades urbanas y rurales dependen del suministro de energía eléctrica.

Para el año 2025, los programas de saneamiento requerirán una demanda de energía eléctrica adicional de 807 GWh. En suma, para ese año el sector hidráulico requerirá de 17 000 GWh representando el 11% del suministro actual de la CFE.¹¹

Desde el punto de vista económico, algunas de las consecuencias de la sobreexplotación de los acuíferos son: el incremento de los costos de extracción y el uso de más energía eléctrica para tratar y bombear el agua, el encarecimiento de procesos industriales y del mismo servicio de agua potable a la población. Esto conlleva a incrementos en los costos de operación de los sistemas hidráulicos.

Este problema nos impulsa a administrar de forma racional el uso de la energía eléctrica, los procesos de extracción, tratamiento, y suministro de agua, ya que se está gastando más capital del redituable.

¹¹ Comisión Nacional del Agua. Coordinación de Electromecánica.

1.5.1.1 Tarifas de suministro de energía eléctrica

La CFE ofrece una serie de servicios de suministro de energía eléctrica y un catálogo de precios por kWh de acuerdo a las características del servicio; a la demanda de potencia y carga eléctrica del usuario. El sector hidráulico consume energía eléctrica dentro de tarifas industriales, las tarifas residenciales quedan fuera de este análisis.

La tabla 1.7 indica la designación de las tarifas utilizadas en el sector hidráulico, su descripción, a que uso se destina y los intervalos de potencia que abarca.

Tarifa	Descripción del servicio	Tipo	Aplicación
2	General hasta 25 kW	General	Baja tensión hasta 25 kW de demanda
3	General más 25 kW	General	Baja tensión para mas de 25 kW
6	Bombeo de aguas potables	Específica	Bombeo de aguas negras y potables
OM	Ordinaria media tensión	General	media tensión, demanda <100 kW
HM	Horaria media tensión	General	Horaria media tensión, demanda 100 kW ↑
HS	Horaria AT subtransmisión	General	Horaria AT, subtransmisión, 35 a 220 kV
HT	Horaria AT transmisión	General	Horaria alta tensión nivel transmisión mas de 220 kV

Tabla 1.7 Tarifas que aplican a los sistemas de bombeo del sector.

La comparación de costos de la energía eléctrica utilizada en el sector, proporciona elementos de juicio, que llevan a seleccionar la estructura tarifaria más económica, tomando en cuenta la cantidad de tiempo diario de operación y la demanda eléctrica máxima del sistema.

Las tarifas 2 y 3, se utilizan en los poblados más pequeños, donde el bombeo de agua es en menor cantidad. Las tarifas OM, HM, HS y HT, se contratan en plantas de mayor capacidad. Los rangos de las tarifas OM y HM, están en media tensión, con demanda de entre 0 - 100 kW y de más de 100 kW respectivamente.

El siguiente análisis, es acerca de una carga operando al 100%, con una capacidad de potencia de 100 kW, se compara el costo de energía eléctrica entre las tarifas 6, OM y HM; para la región sur del país, que es a la que pertenece el estado de Guerrero.

La región Sur comprende todos los municipios de los estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Guerrero, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, Chiapas, Tabasco. Todos los municipios de los estados de Zacatecas, San Luis Potosí y Veracruz no comprendidos en la región Norte o en la región Noreste. Todos los municipios de los estados de México y Morelos no comprendidos en la Región Central.

Es interesante comparar los costos para la condición límite, es decir el umbral en que cada tarifa define su utilización. Esta consideración no afecta la aplicación de la tarifa 6, que es específica para servicio público de bombeo de aguas potables y negras.

La tarifa HM contiene un cargo por cada kilowatt de capacidad de la carga, un cargo por energía en horario base por cada kWh, otro en horario intermedio, y finalmente uno más en horario de punta; para el análisis también se tomaron en cuenta los días del mes que incluían días hábiles (23), sábados (4) y domingos y días festivos (4). Así también se tomó en cuenta la época del año (horario de invierno), en que se encontró el mes de marzo de 2004 mostrada en la tabla siguiente.

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
Sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 22:00
Domingo y día festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

Tabla 1.8 Horarios establecidos por la CFE para la región sur en el horario de invierno.

Para obtener el costo de cada hora de operación se realizó la siguiente operación.

$$\begin{aligned}
 & [(\text{Carga por kW})(\text{capacidad de potencia de la carga})] + \\
 & \{ [(\# \text{ horas de operación})(\# \text{ días hábiles})(\text{ kW de la carga})(\text{costo de kWh de energía base})] + \\
 & (\# \text{ horas de operación})(\# \text{ días Sábados})(\text{ kW de la carga})(\text{costo de kWh de energía base})] + \\
 & (\# \text{ horas de operación})(\# \text{ días Domingos})(\text{ kW de la carga})(\text{costo de kWh de energía base})] \} + \\
 & \{ [(\# \text{ horas de operación})(\# \text{ días hábiles})(\text{ kW de la carga})(\text{costo de kWh de energía intermedia})] + \\
 & (\# \text{ horas de operación})(\# \text{ días Sábados})(\text{ kW de la carga})(\text{costo de kWh de energía intermedia})] + \\
 & (\# \text{ horas de operación})(\# \text{ días Domingos})(\text{ kW de la carga})(\text{costo de kWh de energía intermedia})] \} + \\
 & \{ [(\# \text{ horas de operación})(\# \text{ días hábiles})(\text{ kW de la carga})(\text{costo de kWh de energía punta})] + \\
 & (\# \text{ horas de operación})(\# \text{ días Sábados})(\text{ kW de la carga})(\text{costo de kWh de energía punta})] + \\
 & (\# \text{ horas de operación})(\# \text{ días Domingos})(\text{ kW de la carga})(\text{costo de kWh de energía punta})] \}]
 \end{aligned}$$

La comparación de costos de la energía eléctrica utilizada en el sector, proporciona elementos de juicio, que llevan a seleccionar la tarifa adecuada, tomando en cuenta tiempo diario de operación y la demanda máxima del sistema.

kWh / mes	Horas	Costo en pesos		
		6	OM	HM
0	0	169.88	8806.00	9125.00
3100	1	3052.88	10774.50	10098.26
6200	2	5935.88	12743.00	11133.52
9300	3	8818.88	14711.50	12168.79
12400	4	11701.88	16680.00	13204.05
15500	5	14584.88	18648.50	14239.32
18600	6	17467.88	20617.00	15274.58
21700	7	20350.88	22585.50	16514.78
24800	8	23233.88	24554.00	17754.97
27900	9	26116.88	26522.50	18997.93
31000	10	28999.88	28491.00	20240.89
34100	11	31882.88	30459.50	21483.84
37200	12	34765.88	32428.00	22726.80
40300	13	37648.88	34396.50	23969.76
43400	14	40531.88	36365.00	25212.71
46500	15	43414.88	38333.50	26455.67
49600	16	46297.88	40302.00	27698.63
52700	17	49180.88	42270.50	28941.58
55800	18	52063.88	44239.00	30184.54
58900	19	54946.88	46207.50	31427.50
62000	20	57829.88	48176.00	32670.46
65100	21	60712.88	50144.50	33913.42
68200	22	63595.88	52113.00	35156.38

71300	23	66478.88	54081.50	47166.31
744400	24	69631.88	56050.00	48412.03

Tabla 1.9 Análisis de costos de energía.

Los valores de la tabla 1.9 indican cuál es el costo de operar este equipo durante determinadas horas de operación continua iniciando siempre a medianoche. Estas tarifas son aplicables al mes de Marzo del 2004.¹²

Comparando las tarifas 6 y OM, se observa en la figura 1.16 que el cruce entre ellas ocurre a las 9 horas de operación continua, lo que indica que operar este equipo durante 10 horas continuas en estas tarifas tiene un costo similar. Es claro que si se opera menor cantidad de horas al día, la tarifa 6 resulta más económica. Si se opera un equipo las 24 horas del día el costo de la energía en la tarifa OM resulta ser un 19.5% menor que el costo en la tarifa 6.

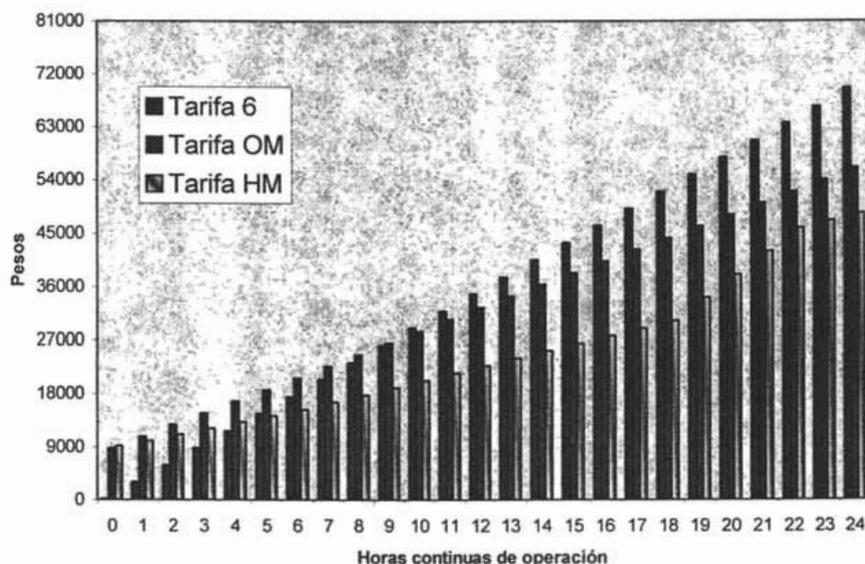


Figura 1.16 Gráfica de las tarifas 6, OM, HM en diferentes tiempos de operación.

Respecto a la tarifa HM, se observa que si operáramos los equipos más de 5 horas continuas al día, resulta ser la más económica de las tres tarifas analizadas, aún cuando esta tarifa es horaria, y entre las horas [18 - 22] y [19 - 21 sáb.] se encuentra en el horario punta.

Con respecto a la tarifa 6, la HM es más económica un 30% operando las 24 horas del día. Y comparándola con la OM, la HM es un 13.5% más barata. De acuerdo a este análisis la tarifa más conveniente en este caso es la HM. Además de que su utilización es obligada si la demanda máxima medida es mayor a 100 kW.

¹² Página web, Comisión Federal de Electricidad.

1.5.2 Dispositivos que reducen el consumo de energía eléctrica

1.5.2.1 Controladores de demanda

Los Controladores de demanda son dispositivos que permiten maniobrar el tiempo de operación de cargas eléctricas predeterminadas de una instalación, con el fin de mantener la demanda máxima bajo control, estableciendo ciclos de trabajo.

El análisis los picos (kWh) en la demanda de potencia eléctrica de un sistema, es de gran utilidad para definir las posibilidades de administración o control de la misma.

Al administrar la demanda máxima manteniendo el mismo consumo de energía, podría disminuirse hasta alcanzar la demanda media o demanda ideal, que se puede interpretar como una medida del aprovechamiento de la energía consumida con respecto a la demanda máxima solicitada. Para administrar la demanda es indispensable desarrollar sus curvas, según la tabla 1.10 y la figura 1.16 de perfiles de demanda.

Tipo de demanda	Período de análisis	Fuente de información
Mensual	2 años	Facturas eléctricas
Mensual	2 años	Analizadores de red

Tabla 1.10 Análisis de demanda.

Con la curva de demanda mensual, indicada en la figura 1.17, se puede identificar el patrón de demanda durante un año y determinar los meses que presentan mayor valor y se puede realizar un análisis para determinar que tipo de eventos originan esas variaciones en la demanda.

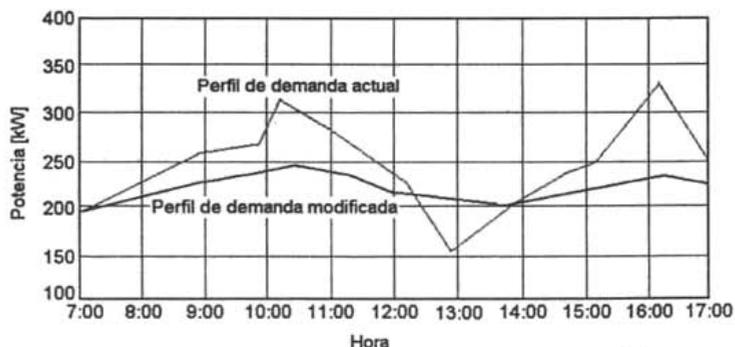


Figura 1.17 Perfiles de demanda; inicial y mejorado¹³.

Para identificar cuáles cargas son trascendentales y cuales no, se debe analizar la siguiente información de cada una de ellas:

- Cargas Trascendentales
- Nivel de importancia
- Potencia de la carga
- Variación diaria de importancia

¹³ Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica. CD Cómo mejorar el Factor de Potencia.

Componentes del controlador

Controlador de la Carga: Monitorea los niveles de potencia a la entrada y activa cuando éstos se aproximen al nivel de demanda máxima.

Panel Relevador: Envía señales de control a las cargas conectadas.

Transductores: Convierten la señal de entrada en watts a una señal en milivolts, para entregarla al panel lógico.

Transformadores de Corriente: Proveen una señal de entrada desde la acometida de la compañía suministradora, al controlador de demanda.

Existen unidades más sofisticadas que agregan varios parámetros, que ofrecen un equipo más poderoso y versátil:

Controles de reloj, usados para redistribuir la selección de varias cargas sobre una base de tiempo, y también para controlar el momento y duración de apagado de las cargas.

Programador de ciclos de trabajo, para determinar los tiempos y períodos del ciclo de apagado de una carga durante diferentes horas de operación.

Programador de la hora del día, que añade la posibilidad de apagar equipos independientemente de la demanda.

La demanda máxima puede ser controlada manualmente o con la ayuda de equipos automáticos.

Control de demanda manual

Consiste en realizar una buena programación de la operación de cargas.

Pasos a realizar, para la aplicación de control de demanda manual:

Archivo histórico de demanda: Para conocer el comportamiento de la planta en diversas condiciones.

Análisis de correspondencia: Para relacionar los procesos y equipos con la demanda global.

Desplazamiento de operación: Para mover las cargas factibles hacia horarios de menor demanda o menor costo.

Priorización de cargas: Para la posibilidad de desconectar ciertos equipos de acuerdo a su importancia en cada proceso.

Atención requerida: Establecer buena comunicación con los operadores de los equipos que son factibles de apagar, y como resultado prevenir picos de demanda innecesarios.

Control de demanda automático

Es la solución mas sofisticada, con controles de tiempo de tipo electrónico, versátil y confiable para asegurar un límite a la demanda máxima.

Pasos a realizar para la aplicación del control de demanda automático:

Carga base: Para la administración de la demanda.

Sistematización del control: Para establecer en qué equipos es posible realizar un control de la demanda. Es importante realizar un listado que describa cada una de las cargas así como su importancia.

Control por etapas: Para establecer los procedimientos de operación de la planta que ayuden a la implantación del sistema de control de demanda.

Programación: Para diseñar la lógica del control de demanda, asignando prioridades a las cargas a ser controladas.

Ajuste: Para ajustar horarios de importancia y programaciones para minimizar el cargo por demanda o para mejorar la operación del sistema.

Automatización: Una vez que sea verificada la gráfica de control de las cargas, es posible colocar un controlador automático de la demanda

1.5.2.2 Motores eficientes

Un motor eficiente es aquél que tiene la habilidad, o capacidad para convertir energía eléctrica a energía mecánica, con un bajo grado de pérdidas. La única potencia absorbida por el motor se consume al realizarse la conversión de energía eléctrica a mecánica. La eficiencia de un motor se calcula mediante la expresión abajo citada, un motor eficiente tiene una η alrededor de 90%.

$$\eta = \frac{\text{Energía mecánica de salida}}{\text{Energía eléctrica de entrada}} (100)$$

La fabricación de estos motores se debe al constante aumento de los costos de energía eléctrica. En comparación con un motor estándar, un motor eficiente consume 25 % menos energía eléctrica. La figura 1.18 muestra una comparación entre pérdidas de potencia de motores de inducción estándar a 1800 rpm, de 4 polos a plena carga, motores de primera generación y motores de alta eficiencia.

La reducción de pérdidas de potencia de motores de alta eficiencia está en el rango del 25 al 43%. La primera generación de motores de alta eficiencia tiene un 25% de reducción de pérdidas.

Las figuras 1.18 y 1.19 ilustran las eficiencias nominales de los motores estándar de diseño B NEMA, las eficiencias de los motores eficientes de primera generación, y las eficiencias de motores de alta eficiencia.

Estas mejoras en la eficiencia o en la reducción de pérdidas de potencia, se logran, incrementando la cantidad de material activo, usado en los motores, y también se logran, mediante el uso de acero magnético de alta calidad.

Los motores de alta eficiencia (figura 1.21) tienen un promedio de reducción de pérdida del 35%; así se muestra una tendencia hacia los motores de alta eficiencia.

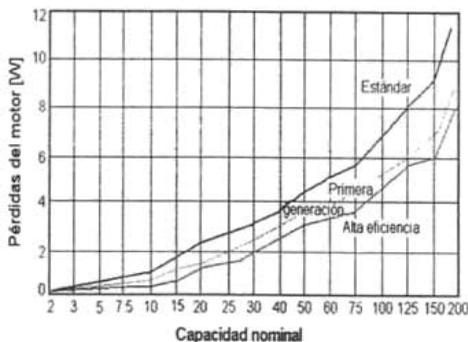


Figura 1.18 Pérdidas de potencia a plena carga de motores NEMA B, estándares de 1800 rpm contra motores de primera generación y motores de alta eficiencia¹⁴.

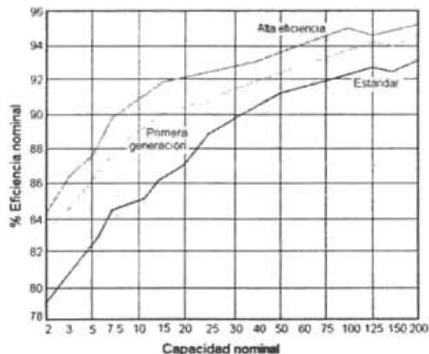


Figura 1.19 Comparación de eficiencia nominal a plena carga de motores de inducción¹⁴, de 1800 rpm.

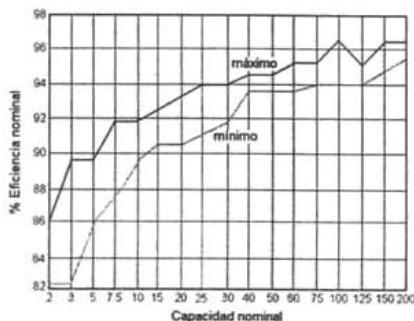


Fig 1.20 Rango de eficiencia nominal para motores de alta eficiencia¹⁵, 1800 rpm.

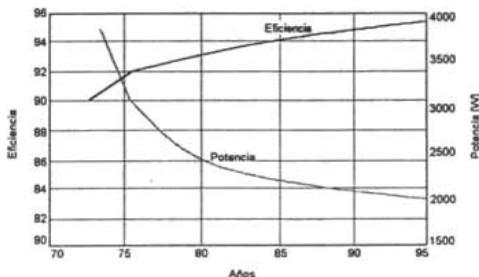


Fig 1.21 Reducción de pérdidas y aumento de eficiencia para motores de inducción¹⁵ de 50 HP, a 1800 rpm.

1.5.2.3 Variadores de Frecuencia

Una de las limitaciones del motor de ca es el tener velocidades fijas, sin posibilidad de variación, contrariamente a lo que ocurre con un motor de cd. Siendo que los procesos y aplicaciones requieren diferentes velocidades y pares, se ha desarrollado un método de variación de velocidad de las velocidades de placa de los motores de inducción.

Este variador es un control que energiza, protege y permite la variación de la velocidad, sin ningún accesorio extra entre el motor y la carga, aportan indudables beneficios como son: el mejoramiento en el control de procesos, flexibilidad en condiciones variables, ahorro de energía y reducción en las necesidades de mantenimiento.

La manera como un variador de velocidad convierte voltaje y frecuencia constante en voltaje y frecuencia variable se basa en un proceso de dos pasos principales. Primero la-

¹⁴ John C. Andreas Energy Efficient Electric Motors, Marcel Dekker, Inc, 1992, USA.

¹⁵ John C. Andreas Energy Efficient Electric Motors, Marcel Dekker, Inc, 1992, USA.

corriente alterna es rectificadora y convertida a voltaje de corriente continua, después la invierte y vuelve a entregar corriente alterna pero con valores de frecuencia y voltajes variables.

El principio de operación de los variadores de velocidad se basa en elementos estáticos de disparo o apertura, como diodos, transistores y tiristores, los cuales son cargas no lineales, antes mencionadas. La distorsión por armónicas afecta a otras cargas conectadas a la línea, como a los transformadores de alimentación, esto se soluciona mediante la instalación de filtros de armónicas que más adelante se verán.

Su parte rectificadora, convierte el voltaje de ca en voltaje de cd ya que es más fácil internamente para el variador generar la frecuencia variable de salida necesaria de una fuente no alterna de voltaje, dependiendo del tipo de convertidor este voltaje de cd puede ser variable o suavizado. La mayoría de los convertidores usados hoy son del tipo de modulación del ancho del pulso (PWM) que operan con un voltaje en cd suavizado.

Los diodos de potencia son usados para producir el voltaje de corriente suavizado y los rectificadores controlados de silicio (SCRs) son usados para el diseño de voltaje de cd variable. Es importante hacer notar que el voltaje del bus de cd es 1.41 veces mayor al voltaje de ca pues toma el valor del pico de voltaje y no el voltaje rms, por lo que el voltaje en bus de corriente de un convertidor de frecuencia de 460 volts de cd. Se ilustra en la figura 1.22.

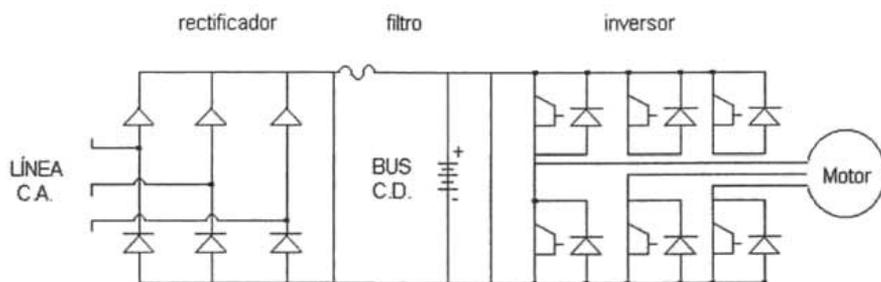


Figura 1.22 Partes de un variador de frecuencias.

Su ventaja principal es la reducción del consumo de energía eléctrica en los procesos que controla, dando como resultado considerables disminuciones en los costos de operación.

La alta confiabilidad en los variadores de velocidad ha permitido que cada día se instalen más de estos equipos en México y en todo el mundo. Debido a ello, cualquier persona involucrada con el ahorro de energía en sistemas eléctricos necesita conocer y entender los principios básicos del funcionamiento y aplicaciones de los variadores de velocidad.

La manera como un variador de velocidad convierte el voltaje, la frecuencia constante y frecuencia variable, se basa en un proceso de dos pasos principales.

Primero, la corriente alterna es rectificadora y convertida a voltaje de corriente continua, después la invierte y vuelve a entregar corriente alterna pero con diferente frecuencia e igual voltaje. Los motores de velocidad variables son adecuados para bombas desde 20 a 500HP, permiten ahorros de energía hasta del 57%.

En sistemas de bombeo con capacidad nominal de gasto del 100%, se puede variar la velocidad, de tal forma que haya una reducción de su gasto hasta del 75% de su gasto original.

Los factores que se deben incluir en una evaluación comparativa de los aspectos económicos de las unidades motrices de velocidad variable son:

Magnitud de la reducción de capacidad.	Costo de la energía eléctrica.
Duración de la reducción.	Características individuales del sistema de flujo.
Costo comparativo del equipo.	

Los ahorros de energía se calculan fácilmente con la tabla 1.11. Se puede evaluar la rentabilidad de una inversión en un sistema de velocidad variable al comparar el costo adicional de ese equipo con la reducción en los gastos de operación.

Flujo nominal (%)	Tipo de Sistema			
	100% F	75% F	50% F	25% F
100	21	16	9	3
87.5	38	31	20	12
75	57	47	35	20
50	81	69	55	41

Tabla 1.11 Porcentajes de ahorro de energía con diferentes gastos y diferentes sistemas de fricción.

Supóngase una instalación de un equipo de bombeo, con un motor de una velocidad de 1800 rpm y 200HP, eficiencia del 92 %, en un sistema con 75% de fricción, una carga de 185 HP con el caudal de diseño, un costo de electricidad¹⁶ de 0.3767 por kWh, y un ciclo de trabajo del 15% del tiempo de funcionamiento al 100% del caudal de diseño, 65% al 87.5%, y 15% al 50%. Al designar CP_d como los HP de diseño, ho como horas de operación (24 horas los 365 días del año), c como el costo de la energía y E como eficiencia del motor, el costo anual de operación de ese sistema asciende a:

$$\$ = \left(\frac{0.746 * CP_{carga}}{E} \right) (ho)(c)$$

La suma de los porcentajes del tiempo de operación es de 95%.

$$\$ = \left(\frac{0.746 * 185}{0.92} \right) (8760 * 0.95)(0.3767) = \$43,693$$

El ahorro que se logra al instalar un variador de velocidad para la bomba se obtiene al multiplicar ese costo anual de operación de 43, 693 por el porcentaje de ahorro de energía indicado para un 75% F, y los porcentajes de tiempo funcionamiento en el ciclo de trabajo. Por lo tanto:

$$\$=470,268.685 ((0.15 \times 0.16) + (0.65 \times 0.31) + (0.15 \times 0.69)) = 154, 718.39$$

El resultado es un ahorro anual de energía del 33%.

¹⁶ Página web, CFE Septiembre 2002.

1.5.2.4 Bancos de capacitores

Para mejorar el FP la solución es la colocación de bancos de capacitores que proporcionan la potencia reactiva [kVAR] necesaria para que el FP esté por encima de lo estipulado por la compañía de suministro (0.90).

Para determinarlos es necesario conocer la potencia aparente y la potencia real o activa tal como se indica en la figura 1.23.

φ_1 : FP a corregirse

φ_2 : FP corregido

Es decir, si se tiene un FP de 0.85 con un motor de 200HP el banco de capacitores tendrá una capacidad de:

62 kVAR_{corr} por cada 100 kW instalados.

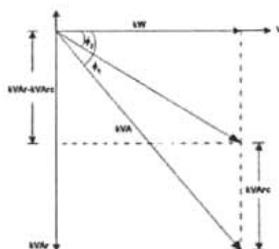


Figura 1.23 Rectificación del FP.

Los capacitores de factor de potencia son conectados a través de la línea de potencia en paralelo de la carga de bajo factor de potencia. El número de kilovars de los capacitores requeridos depende del factor de potencia sin corrección y del valor deseado de corrección del factor de potencia.

El comportamiento de un motor típico respecto al factor de potencia se muestra en la figura 1.24, que indica la variación del factor de potencia a plena carga para un motor de inducción de cuatro polos a 1800rpm. Dicha figura indica cómo se comporta la capacidad del motor con un FP determinado, se observa que con un FP de 80%, la capacidad del motor se reduce un 20%.

La diferencia está en que el factor de potencia para un rango específico de capacidad puede variar entre 5 y 20 puntos. Por lo tanto es mejor conocer el factor de potencia de motores que requieren una corrección de factor de potencia, los métodos de selección de capacitores sin carga aumentan el FP a 95% o mayor. Entre más grande sea la capacidad del motor, es más fácil corregir el factor de potencia.

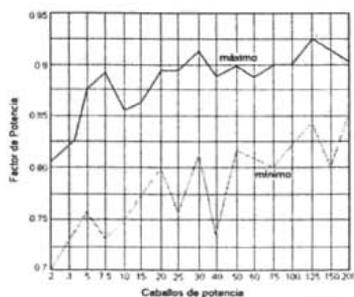


Figura 1.24 Factor de Potencia en motores de inducción¹⁷, diseño B, NEMA, 1800 rpm.

¹⁷ John C. Andreas Energy Efficient Electric Motors, Marcel Dekker, Inc, 1992, USA.

Los capacitores de corrección deben conectarse tan cerca como sea posible de la carga de factor de potencia. Es muy común determinar la naturaleza y la diversidad de las cargas, la figura 1.25 ilustra los puntos típicos de instalación de los capacitores, que son:

- En la terminal principal en una máquina multimotor
- En el circuito derivado en el centro de distribución
- En las terminales del motor

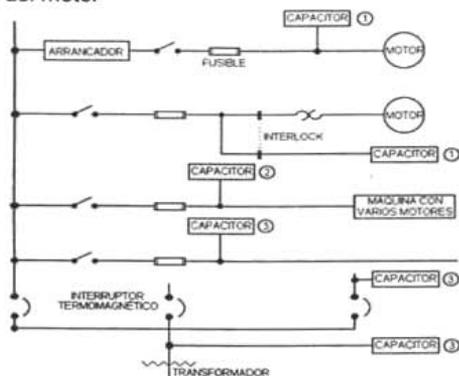


Figura 1.25 Localización de capacitores.

Es un método efectivo, conectar los capacitores en la terminal del motor y conmutando los capacitores con la carga del motor. Los beneficios de este tipo de instalación son los siguientes:

No son necesarios elementos de protección o interruptores extras, y las pérdidas de la línea son reducidas desde el punto de conexión de regreso a la fuente de poder. La capacitancia correctiva es abastecida cuando el motor está en operación.

Si los capacitores son conectados en el lado del motor de las protecciones térmicas, será necesario cambiar las protecciones para conservar la protección propia del motor. Con ciertos tipos de aplicaciones de motores eléctricos, este método de instalación puede resultar perjudicial para los capacitores, motores o para ambos.

Nunca se deben conectar los capacitores directamente al motor bajo ninguna de las siguientes condiciones:

- Si el motor es parte de un sistema de variación de frecuencia.
- Si son usados arrancadores de estados sólido.
- Si es usado un arranque de transición abierta.
- Si el motor esta sujeto a cambios repetitivos, saltos, avance en intervalos o conexiones continuas.
- Si un motor de multi - velocidad.
- Si un motor de reversa.
- Si existe la posibilidad de que la carga pueda manejar al motor y no el motor a la carga.

Todos estos casos de voltajes de excitación propia o picos transitorios de corrientes pueden causar daños al motor y al capacitor.

En este tipo de instalaciones, los capacitores deben ser conmutados con un contacto enclavijado con el arrancador del motor.

Controladores del factor de potencia

Cuando se conectan dispositivos de estado sólido entre una fuente de poder y un motor eléctrico, mantiene aproximadamente constante el factor de potencia del lado del controlador del motor. Estos dispositivos son generalmente nombrados controladores de factor de potencia. Y Son sugeridos en caso de la renovación del equipo.

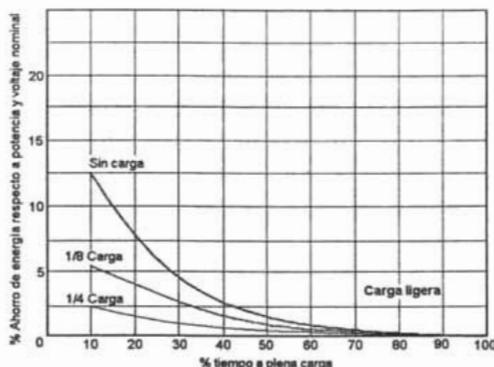


Figura 1.26. Ahorro de energía en un motor trifásico con controlador¹⁸ de FP.

El controlador varía el voltaje promedio aplicado al motor, y se comporta como una función de la carga del motor y decremента las pérdidas del motor en los requerimientos de carga ligera. La aplicación de controladores de factor de potencia ha sido extendida para aplicarse en motores trifásicos. En algunos casos esto ha sido logrado mediante la adición de un módulo ahorrador de energía para mantener los controladores de factor de potencia para motores trifásicos.

La figura 1.26 ilustra el ahorro de potencia, cuando un controlador es aplicado a un motor trifásico para varios ciclos y cargas de trabajo. Estas curvas dependen de la razón de pérdidas sin carga del motor.

Los controladores de factor de potencia para motores trifásicos tienen aplicaciones potenciales, en las cuales el ciclo de trabajo para el motor es variable, desde ligero, o sin carga hasta plena carga como una función escalón.

1.5.2.5 Filtros de armónicas

Son dispositivos activos que tienen la habilidad de eliminar las armónicas de la red eléctrica de una forma controlada. Las armónicas son causadas por cargas eléctricas no lineales, tales como variadores de velocidad, rectificadores, computadoras, etc.

El filtro monitorea la corriente de línea en tiempo real y procesa las armónicas como señales digitales en un procesador digital de señales (DSP) de alta potencia.

¹⁸ John C. Andreas Energy Efficient Electric Motors, Marcel Dekker, Inc, 1992, USA.

La salida del (DSP) controla los módulos de potencia de ancho de pulso modulado (PWM), que a través de reactores de línea, inyectan corrientes armónicas con exactamente la fase opuesta a aquellas que se van a filtrar. El efecto es la eliminación de las armónicas, y una señal senoidal limpia.

Los filtros pueden clasificarse en:

- Filtros desintonizados o antirresonantes
- Filtros sintonizados

Los equipos de filtrado, empleados en las instalaciones industriales y redes antes mencionadas, permiten obtener las siguientes mejoras:

- Compensación de la potencia reactiva a la frecuencia fundamental para un factor de potencia específico.
- Disminuyen el porcentaje de distorsión armónica total.
- Evitan fenómenos de resonancia, que surgirían al conectar capacitores sin protección contra armónicas.
- Disminución de pérdidas activas en cables y aparatos electromagnéticos, por reducción de la distorsión armónica total.

El primer aspecto a tener en cuenta, es el objetivo que se pretende mediante la incorporación de un equipo de corrección del factor de potencia y /o filtrado de armónicas; teniendo en cuenta las características de tipo de carga a compensar, habiendo efectuado las tareas de medición de parámetros eléctricos y armónicas, tanto de tensión como de corriente. En todos los casos se tendrá en cuenta: Orden de armónica, valor máximo de corrientes armónicas a filtrar, valor de distorsión armónica total requerido.

Los filtros son de gran ayuda para corregir el problema de distorsión por armónicas, asimismo contribuyen a mejorar las condiciones del sistema eléctrico de la instalación.

Sistema de Agua Potable Acahuizotla

2.1 Descripción del Sistema

El sistema se encuentra ubicado en la localidad Acahuizotla perteneciente al municipio de Chilpancingo que es la capital del estado de Guerrero en México. Tal sistema alimenta a la ciudad de Chilpancingo y sus alrededores.

En la figura 2.1, se muestra un diagrama del acueducto y de las plantas de bombeo, incluyendo los manantiales alledaños.

El sistema inicia en la gruta Acahuizotla, donde el agua que es captada se envía por gravedad hacia el cárcamo de la planta de bombeo "Captación" de donde se envía a la primera de las tres plantas de bombeo. De acuerdo al aforo realizado en época de estiaje¹, la gruta produce 133.75 lps de gasto hidráulico, y por consiguiente, en época de lluvias se incrementa su producción.

Es conveniente remarcar que en época de estiaje, los manantiales mencionados a continuación tienen comprometida su agua para riego agrícola y se incorporan al acueducto solamente en temporada de lluvias; también cabe decir que los gastos hidráulicos de tales manantiales se ven incrementados debido a las aguas pluviales cuando éstos se incorporan al sistema.

En el cárcamo del segundo bombeo, se incorpora por gravedad, el caudal del manantial "La Imagen", el cual, de acuerdo a los aforos realizados en época de estiaje proporciona un gasto de 34.81 lps.

En el cárcamo del tercer bombeo, se incorpora, por gravedad, el caudal del manantial "Naranjuelos", el cual, de acuerdo a los aforos realizados en época de estiaje proporciona un gasto de 2.25 lps.

Del tercer y último bombeo se conduce hasta la caja de cambio de régimen bombeo-gravedad "Palo Blanco", de donde continúa su recorrido hasta la caja rompedora de presión "Salto Valadés". En este tramo, se incorpora por gravedad el caudal de los manantiales Iglesia Vieja y Yerbabuena, los cuales, de acuerdo a los aforos realizados en época de estiaje, proporcionan un gasto de 16.85 lps.

Después de la caja rompedora de presión, continúa el acueducto hasta descargar al tanque de regularización Margarita Viguri, ubicado dentro de la zona urbana de la ciudad de Chilpancingo.

¹Estiaje: nivel más bajo en épocas de sequía.

Acueducto Acahuzotla

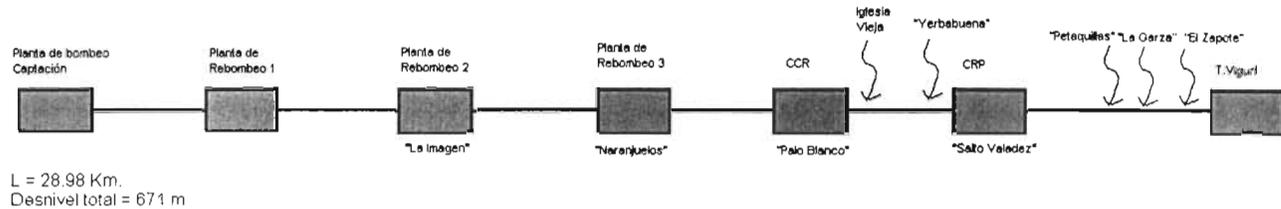


Figura 2.1 Diagrama del sistema de agua potable Acahuzotla.

2.2 Procedimientos de medición

En cada equipo operando unitariamente o en forma conjunta, se realizaron las siguientes mediciones.

2.2.1 En bombas

Caudal bombeado.- En la conducción, en un punto cercano al múltiple de descarga, se realizó la medición del gasto por medio de pitometría, instalando previamente una válvula de inserción.

Presión de descarga.- Por medio de un manómetro calibrado que se instaló en el múltiple, se midió la presión de operación normal existente que vence el desnivel topográfico y las pérdidas por fricción en la línea de conducción.

Nivel del agua.- Se obtuvo el desnivel que existe entre la carátula del manómetro y el nivel del agua del cárcamo al momento de la medición, con objeto de sumarlo a la lectura obtenida con el manómetro.

2.2.2 En motores

Resistencia de aislamiento.- Con un megger se midió la resistencia de aislamiento de los devanados, comparándose con los valores permisibles de la norma.

Parámetros eléctricos.- Se midió la corriente demandada por el motor, el voltaje entre fases y el factor de potencia que se tuvo al momento de la prueba.

Con los valores obtenidos se calculó la potencia hidráulica de la bomba y la potencia eléctrica demandada por el motor. La relación de esas dos potencias dio el valor de eficiencia del conjunto motor-bomba.

Alineación del conjunto motor-bomba.- Por medio de un medidor de nivel se verificó la verticalidad de la flecha de la bomba instalada. Se tomó como punto de referencia la base de concreto de la bomba, la base superior e inferior del cabezal de descarga, el trinquete del motor y la verticalidad de la flecha.

Estado de chumaceras.- Mediante el analizador de rodamientos se determinaron las chumaceras que, por su mal estado, deberían reemplazarse.

2.2.3 En líneas de conducción

Se obtuvo en campo, el estado de los elementos que conforman la tubería de descarga de cada una de las bombas y el múltiple, incluyendo las válvulas de seccionamiento, de alivio de presión, piezas de acero y su tornillería de fijación.

2.2.4 En Subestación

Es de tipo abierta convencional. La alimentación de energía eléctrica inicia en la acometida que viene del poste de la compañía suministradora entra a las instalaciones de la planta a la estructura donde se encuentran los buses, las cuchillas, los fusibles, apartarrayos y transformadores.

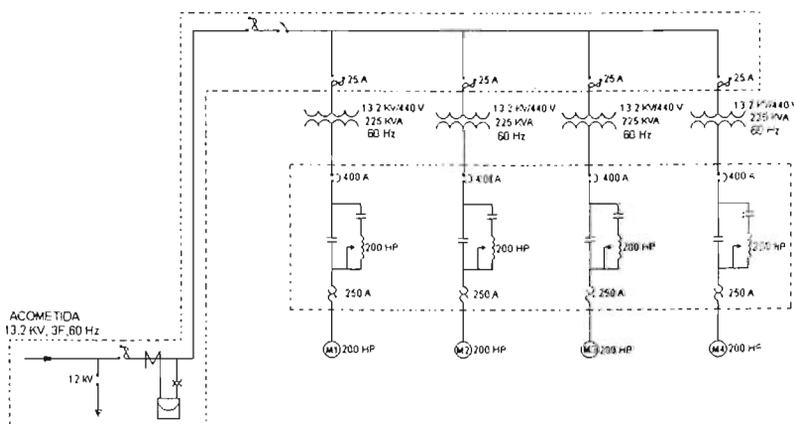


Figura 2.2 Diagrama unifilar eléctrico tipo.

La figura 2.2 es el diagrama unifilar tipo de cada una de las plantas de bombeo. Los datos faltantes son desconocidos por la CNA.

Para cada subestación se realizaron las siguientes actividades.

Aceite.- Se hizo la medición de prueba de ruptura dieléctrica, contenido de humedad y acidez. El equipo, método de prueba empleado y evaluación de resultados cumplen con lo descrito en la norma NOM J 123 vigente. En forma visual se verificó la hermeticidad y estado físico de los tanques de los transformadores.

Apartarrayos.- Se diagnosticaron los apartarrayos existentes.

Resistencia de aislamiento.- Se realizó de acuerdo con lo descrito en Norma NOM J 169 vigente.

2.3 Características de las plantas de bombeo

2.3.1 Planta Captación

La planta de bombeo "Captación" se abastece de la gruta Acahuizotla, mediante dos tuberías de acero de 400 mm (16") de diámetro, que conducen como gasto mínimo (en época de estiaje) aforado en la gruta 133.75 lps. En época de lluvia, incrementa su producción.

2.3.1.1 Equipamiento electromecánico

Bombas.- Se tienen instaladas cuatro bombas tipo vertical, de las cuales se consideran tres en operación en paralelo y una de reserva. La capacidad unitaria original de bombeo es de 60 lps para vencer una carga dinámica de 180 milímetros de columna de aire. Los datos reales se indican en la tabla 1a del anexo 1.

Tuberías.- El diámetro de la columna y de la tubería de descarga es de 200 mm (8"); y el del múltiple es de 400 mm (16").

Motores.- Para la operación de cada bomba, se cuenta con un motor de 200 HP y transformador de 225 kVA, con tensión primaria de 13,200 volts. Los datos reales se indican en la tabla 2a del anexo 1.

2.3.1.2 Línea de conducción

Cuenta con una tubería a presión de acero, de 400 mm (16") de diámetro para conducir el agua hasta su punto de descarga que corresponde al cárcamo de la Planta de bombeo 1.

2.3.1.3 Operación del sistema

De acuerdo al diseño, se tienen tres equipos para operar y uno de reserva (cada equipo tiene una capacidad de bombeo de 60 lps), sin embargo, la política de operación la define la Comisión de Aguas, en función de los costos de energía eléctrica, demanda de la población y temporada de estiaje o de lluvia.

En época de lluvias esta planta no opera el total de sus equipos debido a que se aprovechan los manantiales ubicados aguas arriba del acueducto, disminuyendo con esto los costos de energía eléctrica.

2.3.2 Planta de Bombeo 1

El cárcamo de la planta de bombeo 1 recibe el caudal proveniente de la planta de bombeo Captación, mediante una tubería a presión, de acero, de 400 mm (16") de diámetro.

2.3.2.1 Equipamiento electromecánico

Bombas.- Lo mismo que para la planta Captación. Los datos reales se indican en la tabla 3a del anexo 1.

Tuberías.- El diámetro de la columna y de la tubería de descarga es de 200 mm (8"); y el del múltiple es de 400 mm (16").

Motores.- Para la operación de cada bomba, se cuenta con un motor de 200HP y transformador de 225 KVA, con tensión primaria de 13,200 volts. Los datos operativos se indican en la tabla 4a del anexo 1.

2.3.2.2 Línea de conducción

Cuenta con una tubería a presión de acero, de 400 mm (16") de diámetro para conducir el agua hasta su punto de descarga que corresponde al cárcamo de la Planta de bombeo 2.

2.3.2.3 Operación del sistema

La misma que para la planta Captación. Así mismo, su funcionamiento depende de que opere o de que no opere la planta de bombeo "Captación".

2.3.3 Planta de bombeo 2

El cárcamo de la planta de bombeo 2, recibe el caudal proveniente de la planta de bombeo 1, mediante una tubería a presión, de acero, de 400 mm (16") de diámetro.

2.3.3.1 Equipamiento electromecánico

Bombas.- Lo mismo que para la planta Captación. Los datos reales se indican en la tabla 5a del anexo 1.

Tuberías.- El diámetro de la columna y de la tubería de descarga es de 200 mm (8"); y el del múltiple es de 400 mm (16").

Motores.- Para la operación de cada bomba, se cuenta con un motor de 200HP y transformador de 225 KVA, con tensión primaria de 13,200 V. Los datos se muestran en la tabla 6a del anexo 1.

2.3.3.2 Línea de conducción

Cuenta con una tubería a presión, de acero y asbesto-cemento, de 400 mm (16") de diámetro para conducir el agua hasta su punto de descarga que corresponde al cárcamo de la Planta de bombeo 3.

2.3.3.3 Operación del sistema

La misma que para la planta Captación. Así mismo, su funcionamiento depende de que opere o de que no opere la planta de bombeo "Captación".

2.3.4 Planta de bombeo 3

El cárcamo de esta planta recibe el caudal proveniente de la planta de bombeo 2, mediante una tubería a presión, de acero y asbesto-cemento, de 400 mm (16") de diámetro.

2.3.4.1 Equipamiento electromecánico

Bombas.- Lo mismo que para la planta Captación. Los datos reales se indican en la tabla 7a del anexo 1.

Tuberías.- El diámetro de la columna y de la tubería de descarga es de 200 mm (8") y el del múltiple es de 400 mm (16").

Motores.- Para la operación de cada bomba, se cuenta con un motor de 250HP y transformador de 300 KVA, con tensión primaria de 13,200 volts. Los datos reales se indican en la tabla 8a del anexo 1.

2.3.4.2 Línea de conducción

Cuenta con una tubería a presión, de acero, de 400 mm (16") de diámetro para conducir el agua hasta su punto de descarga que corresponde a la caja de cambio de régimen Salto Valadés".

2.3.4.3 Operación del sistema

La misma que para la planta Captación. Así mismo, su funcionamiento depende de que opere o de que no opere la planta de bombeo "Captación".

2.4 Consumo de energía eléctrica durante un mes.

A continuación se detallan los parámetros registrados por la compañía suministradora de energía eléctrica, de cada una de las cuatro plantas de bombeo durante el mes de marzo del 2004. Así mismo se detallan los cargos por este suministro.

2.4.1 Conceptos de factura

Tarifa.- Identificación de la tarifa aplicada.

Carga Conectada kW.- Es la suma expresada en kilowatts de las potencias nominales de los equipos, aparatos y dispositivos eléctricos, que se registraron en el contrato de energía eléctrica.

Demanda Contratada kW.- Demanda establecida en el contrato de energía eléctrica.

Multiplicador.-Constante por la cual se debe multiplicar la diferencia de lecturas para obtener el consumo de energía, reactivos y demanda.

$kW_{base, intermedia, punta}$, $kWh_{base, intermedia, punta}$, $kVArh$.- Tipo de parámetro que registra el medidor en los periodos de base, intermedia y punta.

Factor de Potencia %.- Factor de aprovechamiento del consumo de energía en trabajo útil o fuerza mecánica. El valor del Factor de Potencia mínimo aceptable es de 90%. Cuando el Factor de Potencia tiene un valor superior al 90% se aplica una bonificación que se detalla en el capítulo 1, en la tabla 1.1.

2.4.2 Valores eléctricos

Concepto	Captación	Bombeo 1	Bombeo 2	Bombeo 3
Tarifa contratada	HM	HM	HM	HM
Carga conectada [kW]	640	640	640	800
Demanda contratada [kW]	640	640	640	800
Demanda facturable [kW]	148	132	207	122
Multiplicador	240	1200	240	700
kWh_{base}	69 840	67 200	49 680	76 300
$kWh_{intermedia}$	86 880	85 200	62 880	100 100
kWh_{punta}	240		240	
kW_{base}	401	444	274	392
$kW_{intermedia}$	401	432	274	406
kW_{punta}	39		178	
$kVArh$	97 920	64 800	3 600	65 100
Factor de potencia	84.84	92.03	99.95	93.82
Cargo por energía base	\$30610.87	\$29453.76	\$21774.74	\$33442.00
Cargo por energía intermedia	\$45820.51	\$44934.48	\$33162.91	\$52792.74
Cargo por energía punta	\$405.21	-----	\$405.21	-----
Cargo por energía	\$76836.6	\$74388.24	\$55342.872	\$86235.03
Cargo por demanda	\$13505.00	\$12045.00	\$18888.75	\$11132.5
Cargo ó bonificación por FP	\$2364.06	\$376.96-	\$1348.98-	\$707.75-
Subtotal	\$92705.66	\$86056.28	\$72882.642	\$96659.78
IVA	\$13905.84	\$12908.44	\$10932.39	\$14498.96
Total	\$106 611.50	\$98 964.72	\$83 815.03	\$111 158.74
\$400 550.016	Tabla 2.1 Valores obtenidos de la factura emitida por la compañía de suministro eléctrico en Abril 2004.			

Tarifa HM Marzo 2004	
Energía en base kWh	0.4383
Energía en intermedia kWh	0.5274
Energía en punta kWh	1.6884
Demanda facturable kW	91.25

Tabla 2.2 Precios unitarios de energía en marzo del 2004 según la compañía de suministro eléctrico.

De acuerdo a estos valores se observa que en conjunto, el gasto de operación por concepto de energía eléctrica de las cuatro plantas que componen el sistema, asciende a \$400, 550. Esta es una cifra significativa ya que en promedio por planta se paga \$100,137 en tan sólo un mes de operación. Haciendo un acercamiento del gasto del sistema durante un año nos da un total de: \$ 4 806 600 (cuatro millones ochocientos seis mil seiscientos), redondeando suponemos una cantidad e cinco millones anuales.

Este gasto constante y no totalmente reembolsado por los pagos de los usuarios; ya que se cobra un valor menor al real del costo de suministro de agua, y en algunos casos existe morosidad en consumidores, fugas de agua o usuarios clandestinos (se cuelgan de la red de distribución); ha traído como consecuencia morosidad por parte del organismo operador del suministro de agua a la compañía suministradora de energía eléctrica, y en algunas ocasiones se ha suspendido el suministro de ésta última, trayendo como consecuencia el desabasto de agua a toda la ciudad de Chilpancingo, Guerrero. Se observa en la tabla 2.1 que se ha evitado operar los equipos electromecánicos en los horarios punta, ya que este horario tiene el mayor costo (ver tabla 2.2); en su caso las plantas "Captación" y "Bombeo 2" han tenido una diferencia de lecturas (actual y anterior) de 1, a esto efectuándole la operación con el *multiplicador*, nos da un valor de 240 [kWh] en cada caso, es decir, en este horario el consumo es mínimo. El resto de las plantas no tuvo cargos por este concepto. A excepción de la planta "Captación" que tuvo un Factor de Potencia de 84.84 y que tuvo un recargo considerable de \$2364; el resto de las plantas obtuvo una bonificación por tener un Factor de Potencia mayor de 90%. Estos consumos se podrían reducir mejorando la operación de los equipos electromecánicos y en general la operación del sistema eléctrico del acueducto.

Resultados y estrategias para el uso eficiente de energía eléctrica

Los estudios electromecánicos en los equipos de las plantas de bombeo del Sistema de agua potable del acueducto Acahuizotla se realizaron durante la operación de las bombas, motores y centro de control de motores. Por separado se hizo la revisión del conjunto de la subestación y del tren de descarga y múltiple, respectivo.

A continuación se muestran los reportes finales de cada equipo y las estrategias recomendadas a llevar a cabo para el mejor uso y eficiencia de los mismos, con el fin de utilizar eficientemente la energía eléctrica en dicho sistema.

3.1 Resultados eléctricos

Los resultados de los parámetros de los equipos electromecánicos del sistema, se encuentran en el Anexo 2. A continuación se hace un resumen de los resultados. Los datos de placa de los equipos se encuentran en el Anexo 1.

3.1.1 Mediciones de campo de las plantas de bombeo (Fichas técnicas)

3.1.1.1 Planta Captación

Descripción	Equipo			
	1	2	3	4
Tensión promedio, apertura válvula 100% [V]	410	417	435	No
Corriente promedio, apertura válvula 100% [A]	262	210	213	está
Factor de potencia promedio	0.80	0.89	0.93	conectado
Potencia de motor instalado [HP]	200	200	200	al
Potencia hidráulica [HP]	195.00	159.00	162.00	múltiple
Potencia eléctrica [HP]	200.00	200.00	200.00	
Eficiencia total de campo (%)	97.00	80.00	81.00	
Eficiencia motor (%)	93.00	88.00	89.00	
Eficiencia bomba (%)	89.00	91.00	91.00	

Tabla 3.1 Mediciones eléctricas de la planta de bombeo Captación.

Equipo 1	Q	V	Equipo 2	Q	V	Equipo 3	Q	V	Equipo 4	Q	V
Nuevo	[l.p.s.]	[m/s]	Rehabilitado	[l.p.s.]	[m/s]	rehabilitado	[l.p.s.]	[m/s]	Cambio Lub	[l.p.s.]	[m/s]
100%	82.71	1.01	100%	67.55	0.85	100%	68.91	0.86	Fuera de operación		
75%	79.92	0.98	75%	65.40	0.82	75%	Válvula Pegada				
50%	77.63	0.95	50%	63.18	0.80	50%					

Tabla 3.2 Revisión individual de equipos.

Equipos	Q [l.p.s]	P[kg/cm ²]	V [m/s]
1 y 2	143.39	14.40	1.82
1 y 3	144.49	13.50	1.79
2 y 3	131.90	13.20	1.64
1, 2 y 3	176.95	14.40	2.19

Tabla 3.3 Revisión en paralelo de equipos.

Nota: La presión indicada en las tablas anteriores se obtuvo con el tubo pitot, por consiguiente para referirlo a la presión en el múltiple habrá que sumarle el desnivel topográfico de 31.20 m (3.12 kg/cm²)

3.1.1.2 Planta de Bombeo 1

Descripción	Equipo			
	1	2	3	4
Tensión promedio, apertura válvula 100% [V]	423	435	417	427
Corriente promedio, apertura válvula 100% [A]	158	249	231	158
Factor de potencia promedio	0.98	0.80	0.90	0.98
Potencia de motor instalado [HP]	200	200	200	200
Potencia hidráulica [HP]	89.00	175.00	150.00	123.00
Potencia eléctrica [HP]	200.00	200.00	200.00	200
Eficiencia total de campo (%)	44.00	88.00	75.00	61.00
Eficiencia motor (%)	66.00	98.00	96.00	66.00
Eficiencia bomba (%)	67.00	85.00	78.00	94.00

Tabla 3.4 Mediciones eléctricas de la planta de bombeo 1.

Equipo 1	Q	V	Equipo 2	Q	V	Equipo 3	Q	V	Equipo 4	Q	V
Rehabilitado	I.p.s.	m/s	Nuevo	I.p.s.	m/s	Camb Lub	I.p.s.	m/s	Camb Lub	I.p.s.	m/s
100%	37.65	0.44	100%	74.44	0.84	100%	63.86	1.74	100%	52.19	0.61
75%	34.59	0.41	75%	70.81	0.80	75%	Válvula sin volante		75%	47.26	0.58
50%	27.62	0.33	50%	66.48	0.75	50%			50%	43.01	0.51

Tabla 3.5 Revisión individual de equipos.

Equipos	Q [l.p.s]	P[Kg/cm ²]	V [m/s]
1 y 2	111.61	16.00	1.28
1 y 3	96.03	16.00	1.12
1, 2 y 3	172.14	16.60	1.99
1, 3 y 4	149.47	16.20	1.78

Tabla 3.6 Revisión en paralelo de equipos.

Nota: La presión indicada en las tablas anteriores se obtuvo con el pitot, por consiguiente para referirlo a la presión en el múltiple habrá que sumarle el desnivel topográfico de 9.8 m (0.98 kg/cm²)

3.1.1.3 Planta de Bombeo 2

Descripción	Equipo			
	1	2	3	4
Tensión promedio, apertura válvula 100% [V]		440	439	436
Corriente promedio, apertura válvula 100% [A]		188	213	207
Factor de potencia promedio		0.98	0.92	0.96
Potencia de motor instalado [HP]	200	200	200	200
Potencia hidráulica [HP]		141.00	149.00	160.00
Potencia eléctrica [HP]		200.00	200.00	200.00
Eficiencia total de campo (%)		71.00	74.00	80.00
Eficiencia motor (%)		78.00	89.00	86.00
Eficiencia bomba (%)		90.00	84.00	93.00

Tabla 3.7 Mediciones eléctricas de la planta de bombeo 2.

Equipo 1	Q	V	Equipo 2	Q	V	Equipo 3	Q	V	Equipo 4	Q	V
Nuevo	I.p.s.	m/s	Rehabilitado	I.p.s.	m/s	Camb.Lub	I.p.s.	m/s	Camb.Lub	I.p.s.	m/s
100%			100%	59.70	0.65	100%	62.78	0.67	100%	67.74	0.75
75%			75%	55.75	0.61	75%	58.40	0.63	75%	64.05	0.71
50%			50%	50.43	0.55	50%	52.43	0.56	50%	60.63	0.67

Tabla 3.8 Revisión individual de equipos.

Equipos	Q [l.p.s]	P[Kg/cm ²]	V [m/s]
1 y 2	144.42	15.00	1.61
1 y 4	143.90	18.00	1.68
2 y 4	126.02	18.00	1.50
1, 2 y 4	186.90	19.00	2.01
2, 3 y 4	166.68	19.00	1.82

Tabla 3.9 Revisión en paralelo de equipos.

Nota: La presión indicada en las tablas anteriores se obtuvo con el pitot, por consiguiente para referirlo a la presión en el múltiple habrá que sumarle el desnivel topográfico de 12.32 m (1.23 kg/cm²)

3.1.1.4 Planta de Bombeo 3

Descripción	Equipo			
	1	2	3	4
Tensión promedio, apertura válvula 100% [V]	425	432	430	
Corriente promedio, apertura válvula 100% [A]	307	309	277	
Factor de potencia promedio	0.83	0.81	0.91	
Potencia de motor instalado [HP]	250	250	250	250
Potencia hidráulica [HP]	178.00	194.00	177.00	
Potencia eléctrica [HP]	250.00	250.00	231.00	
Eficiencia total de campo (%)	71.00	78.00	82.20	
Eficiencia bomba (%)	70.00	75.00	78.00	
Eficiencia motor (%)	98	98	92.40	

Tabla 3.10 Mediciones eléctricas de la planta de bombeo 3.

Equipo 1	Q	V	Equipo 2	Q	V	Equipo 3	Q	V	Equipo 4	Q	V
Camb. lub	l.p.s.	m/s	Camb.Lub	l.p.s.	m/s	Nuevo	l.p.s.	m/s	Rehabilitado	l.p.s.	m/s
100%	63.27	0.66	100%	69.04	0.71	100%	55.32	0.56	100%		
75%	53.22	0.58	75%	61.30	0.63	75%	50.50	0.51	75%		
50%	49.20	0.51	50%	52.39	0.54	50%	39.99	0.41	50%		
											Fuera de operación

Tabla 3.11 Revisión individual de equipos.

Equipos	Q [l.p.s]	P[Kg/cm ²]	V [m/s]
1 y 2	128.123	17.10	1.34
1 y 3	118.15	17.10	1.15
2 y 3	124.22	17.10	1.27

Tabla 3.12 Revisión en paralelo de equipos.

Nota: La presión indicada en las tablas anteriores se obtuvo con el pitot, por consiguiente para referirlo a la presión en el múltiple habrá que sumarle el desnivel topográfico de 10.10 m (1.01 kg/cm²)

3.1.2 Descripción del estado general de los equipos

Con relación a los resultados de la revisión individual y en paralelo de los equipos, se concluye que, la poca variación del gasto, entre una válvula abierta al 100% y 50% respectivamente, puede deberse a que al no funcionar las válvulas de admisión y expulsión de aire, éste quede atrapado en los puntos de alto perfil de la tubería y que la tubería esté azolvada en los puntos bajos. Lo anterior ocasiona un taponamiento y una disminución en la capacidad de conducción y puede afectar las condiciones de operación. Con relación al posible azolvamiento de la tubería en sus puntos bajos, puede deberse a que cuando se hicieron los levantamientos de campo, se detectó que el cárcamo de la planta de bombeo tenía aproximadamente un espesor de 70 centímetros de azolve y -

ahora puede ser bombeado conjuntamente con el agua. Por lo anterior es recomendable abrir la válvula de desfogue de la tubería cuando esté operando este tramo del sistema, para desazolvar el acueducto.

3.1.2.1 Equipos electromecánicos

Las válvulas de compuerta, check y aliviadora de presión tienen fugas. Un equipo de bombeo proporciona un gasto mayor al de diseño, el resto proporciona un gasto mayor (ver Anexo 1). El aceite del motor, está en malas condiciones. Las chumaceras y los empaques del estopero están en malas condiciones. El transformador no alimenta correctamente (ver inciso 3.1.1). El vástago¹ de la válvula de compuerta está en malas condiciones en algunos equipos. Existen voltajes desbalanceados en algunos equipos (ver Anexo 2). Tres equipos están fuera de servicio. La juntas dresser están en malas condiciones. Algunos equipos tienen corriente de campo baja. Algunos tienen alto amperaje.

3.1.2.2 Trenes de descarga

Las válvulas de compuerta, check, el múltiple y aliviadora de presión tienen fugas.

3.1.2.3 Transformadores

La resistencia de aislamiento es satisfactoria, en A.T. tienen conexión en delta, en B.T. tienen conexión en estrella; capacidad de 225kVA, 435litros de aceite, con un peso de 1380 Kg. El neutro y la tierra de los transformadores no cuentan con el calibre del cable adecuado, las carátulas del equipo de medición se encuentran ilegibles (termómetro del líquido nivel de aceite), algunos transformadores presentan fugas de aceite; a algunos transformadores les falta aproximadamente 50 litros de aceite; la pintura está deteriorada, las válvulas de muestreo no operan, los empaques están dañados y envejecidos, los contenedores de aceite están contaminando el subsuelo. Existen fugas en los cambiadores de derivaciones.

3.1.2.4 Arrancadores

Las pruebas realizadas a todos los equipos en cuanto a operación, resistencia de aislamiento (1000M Ω) de fase a fase y estado general son satisfactorias. Los gabinetes de los equipos no se encuentran conectados a ningún sistema de tierras. Las pruebas realizadas en cuanto a operación, resistencia de aislamiento y estado general son satisfactorias. Los equipos de contactos (platino) tanto de los contactores de arranque como de trabajo tienen carbonización. La calibración de las protecciones de acuerdo a las lecturas tomadas en los arrancadores no son las adecuadas. En las conexiones de los arrancadores de los alimentadores secundarios, los conectores no son los adecuados. El equipo de medición no se encuentra calibrado, las mediciones obtenidas no corresponden a las de las carátulas. Los equipos marca Siemens de modelos anteriores (disyuntores²) aunque su estado general y operación son aceptables, las características de sus -

¹ Pieza en forma de varilla que sirve para articular o sostener otras piezas.

² Aparato eléctrico que tiene por objeto abrir automáticamente el paso de la corriente eléctrica; este aparato ya es obsoleto.

elementos, sobre todo las protecciones, no son compatibles en cuanto a los tiempos de respuesta con los nuevos equipos. El equipo en general por el tiempo que tiene operando se ha deteriorado y resultó difícil la calibración de las protecciones. Cable del alimentador primario (Subestación al Centro de Control de Motores): 500 MCM, del alimentador secundario (Centro de Control de Motores al motor): 250 MCM, del neutro 2/0 AWG. Cable del arrancador al motor de 250 MCM, cable del arrancador al transformador de 400MCM.

3.1.2.5 Subestaciones eléctricas

Subestación de tipo abierta convencional. Las protecciones (cortacircuitos) en alta tensión se encuentran en malas condiciones puesto que los elementos de contacto ya no tienen el ajuste mecánico requerido. Las bajadas de tierra a apartarrayos no son del calibre adecuado. El calibre de los buses y bajadas de los transformadores, no son del calibre adecuado. Los sistemas de tierra están contruidos por varillas aisladas, no constituyendo un sistema. No existe sistema de pararrayos. Las varillas de tierra no cuentan con registros y los que se tienen se encuentran destruidos. la malla ciclónica no está aterrizada

3.2 Resultados energéticos

Se observa que la demanda mensual durante un año por cada una de las plantas en los meses de Noviembre y Diciembre tienen un mayor consumo de energía en horario base, intermedio, y punta: Noviembre: 400 kW Diciembre: 400 kW; en cada horario. Ya en Enero los horarios base e intermedio se mantienen en esos niveles, pero el horario de punta disminuye a valores menores de 35 kW. Las mediciones eléctricas se realizaron en su mayoría por medio del instrumento de medición llamado analizador de redes, megger y voltamperímetro de gancho. Las hidráulicas mediante el tubo Pitot.

Resultados energéticos								
	Equipo	Eficiencia bomba %	Eficiencia motor %	Eficiencia [%] Motor -bomba	V promedio [V] apertura de válvula 100%	I promedio [A] Apertura de válvula 100%	FP promedio	Potencia eléctrica [kW]
Captación	1	89	93	97.5	410	262	0.80	148.84
	2	91	88	79.5	417	210	0.89	148.64
	3	91	89	81	435	213	0.93	149.24
	4	No está conectado						
Bombeo 1	1	67	66	44.5	423	158	0.98	82.18
	2	85	96	87.5	435	249	0.80	150.08
	3	78	96	75	417	231	0.90	150.15
	4	94	66	61.5	427	158	0.98	84.13
Bombeo 2	1	Se fue a tierra						
	2	90	78	70.5	440	188	0.98	144.19
	3	84	89	74.5	439	213	0.92	149.00
	4	93	86	80	436	207	0.96	150.06
Bombeo 3	1	70	98	71.2	425	307	0.83	187.57
	2	75	97	77.6	432	309	0.91	187.27
	3	78	92	85	430	277	0.91	187.73
	4	Está fuera de servicio						

Tabla 3.13 Parámetros eléctricos de cada equipo electromecánico.

3.2.1 Planta Captación

Esta planta tiene conectada una carga de 640kW, con una tarifa HM con la compañía de suministro eléctrico, demanda contratada de 640kW, multiplicador 240, con número de medidor 4A6P74.

En cuanto al consumo total de energía de la planta, de acuerdo a la factura emitida por la compañía suministradora de energía eléctrica durante el mes de Marzo del 2004 (tabla 2.1 del capítulo anterior), se tiene un consumo general de 156,960 kWh, operó un 55% del tiempo en horario intermedio. Asimismo, se encontró un valor de FP de 84.84%, el cual tuvo un recargo de \$2364, que hacen un total de gasto de operación por concepto de energía eléctrica de \$106 611.50 m/n.

Los siguientes resultados fueron obtenidos de acuerdo al análisis hecho en este trabajo.

3.2.1.1 Equipo 1

Según este estudio se observa que el Factor de Potencia se encuentra muy por debajo (0.80) de lo estipulado por la "Ley de servicio público de energía eléctrica" que establece que el valor de FP mínimo igual a 0.90. Esto trae consigo varias implicaciones, como el excesivo pago de energía eléctrica y la disminución de la capacidad del equipo para manejar la energía eléctrica. También significa energía desperdiciada y daño por usar el sistema eléctrico en estas condiciones, se espera un cargo por parte de la compañía suministradora de energía eléctrica por un FP menor al 90%. Por otro lado se observa que la potencia consumida en una hora es 148.84kW. La eficiencia del conjunto motor bomba es de 97.5%. Existe una corriente alta, por lo que el motor trabaja al 109% de su capacidad, esto mermará los años útiles de este equipo. El voltaje promedio con apertura en la válvula del 100% es de 410[V].

3.2.1.2 Equipo 2

El FP es inadecuado, 0.89. En este caso, este equipo será participe de un recargo. La potencia de salida de la bomba es de 159HP, donde la potencia de entrada al motor es de 200 HP, así es que la potencia del conjunto nos da un 79.5%, es muy baja, aquí la energía eléctrica está siendo desperdiciada, es decir hay pérdidas de potencia. La potencia consumida en una hora por este equipo es de 148.64kW. El voltaje promedio con apertura en la válvula del 100% es de 417[V], necesita corregirse a 440[V].

3.2.1.3 Equipo 3

El Factor de Potencia de este equipo es aceptable es 0.93. La eficiencia del conjunto es 81% ya que, la potencia de entrada al motor es 200HP y la potencia de salida de la bomba es 162 HP. Se desperdician cerca de 38 HP de potencia durante la operación del equipo. La energía consumida en una hora es de 149.24kW, casi el 20 % de esta energía (28.35kW) es desperdiciada. El voltaje promedio con apertura en la válvula del 100% es de 435[V].

3.2.1.4 Equipo 4

Este equipo no se encuentra conectado al sistema hidráulico, por ende al sistema eléctrico, lo cual podría traer como consecuencia que el sistema no cumpla con los valores de carga y demanda requeridos en el contrato con la compañía de suministro, esto implica baja eficiencia operativa, deficiente nivel de servicio, bajo índice de aprovechamiento de la infraestructura, y excesivos gastos de operación.

3.2.2 Planta de Bombeo 1

Esta planta tiene conectada una carga de 640kW, con una tarifa HM con la compañía de suministro eléctrico, demanda contratada de 640kW, multiplicador 1200, con número de medidor 4A6P76.

De acuerdo a la factura emitida (tabla 2.1) por la compañía suministradora de energía eléctrica se tiene un consumo total del mes de marzo del 2004 de 152,400 kWh; operó un 55% del tiempo en horario intermedio. No operó en el horario punta. En cuanto al promedio de Factor de Potencia se tiene un 92.03%, el cual tuvo una bonificación monetaria de \$2364.06. Los gastos de operación de la planta por concepto de energía eléctrica en general son \$98,964.72 m/n. Esto incluye iluminación, y otros equipos eléctricos que la planta pudiera tener.

Los siguientes resultados son de acuerdo al análisis realizado en este trabajo.

3.2.2.1 Equipo 1

El Factor de Potencia de este equipo es de 0.98. La eficiencia del conjunto es sumamente baja (44%) ya que, la potencia de entrada al motor es 200HP y la potencia de salida de la bomba es 89HP. Se desperdician cerca de 110HP de potencia durante la operación del equipo. La energía consumida en una hora es de 82.18kW, casi el 66 % de esta energía (54.23kW) es desperdiciada. Este equipo ya ha sido rehabilitado anteriormente. El voltaje promedio con apertura en la válvula del 100% es de 423 [V].

3.2.2.2 Equipo 2

El Factor de Potencia de este equipo es inaceptable (0.80). Por este motivo es de esperarse un excesivo pago de energía eléctrica por mal uso del sistema eléctrico, disminución de la capacidad del equipo para manejar la energía eléctrica, energía desperdiciada y se afecta la utilización del sistema eléctrico, se espera un cargo por parte de la compañía suministradora de energía eléctrica por un FP menor al 90%. La eficiencia del conjunto es de 87.5% ya que, la potencia de entrada al motor es 200HP y la potencia de salida de la bomba es 175HP. Se desperdician cerca de 25HP de potencia durante la operación del equipo. La energía consumida en una hora es de 150.08kW, casi el 12.5% de esta energía (18.76kW) es desperdiciada. Tiene una alta corriente (249 A), por lo que el motor trabaja al 104% de su capacidad y disminuirá continuamente su vida útil. Este equipo nunca ha sido rehabilitado. El voltaje promedio con apertura en la válvula del 100% es de 435[V].

3.2.2.3 Equipo 3

El FP de este equipo es aceptable (0.90). La eficiencia del conjunto es de 75% ya que, la potencia de entrada al motor es 200HP y la potencia de salida de la bomba es 150HP. Se desperdician cerca de 50HP de potencia durante la operación del equipo. La energía consumida en una hora es de 150.15kW, casi el 25% de esta energía (37.53kW) es desperdiciada. El motor trabaja al 96%. El voltaje promedio con apertura en la válvula del 100% es de 417[V].

3.2.2.4 Equipo 4

El FP de este equipo es aceptable (0.98). La eficiencia del conjunto es de 61.5% ya que, la potencia de entrada al motor es 200HP y la potencia de salida de la bomba es 123HP. Se desperdician cerca de 77HP de potencia durante la operación del equipo. La energía consumida en una hora es de 84.135kW, el 38.5% de esta energía (32.39kW) es desperdiciada. El motor trabaja al 66% de su capacidad. El voltaje promedio con apertura en la válvula del 100% es de 427[V].

3.2.3 Planta de Bombeo 2

Esta planta tiene conectada una carga de 640kW, con una tarifa HM con la compañía de suministro eléctrico, demanda contratada de 640kW, multiplicador 240, con número de medidor 4A6P73.

De acuerdo a la compañía suministradora de energía eléctrica, esta planta tuvo un consumo general de potencia por hora durante el mes de Marzo del 2004, de 112,800 kWh; estuvo operando 55% del tiempo en horario intermedio, el resto fue en base; además, operó mínimamente en periodos de energía punta 0.2%. Su FP fue de 99.95 % lo cual tuvo una bonificación monetaria de \$1348.98. Obsérvese (en el inciso 3.2.1) que es más sustantivo el recargo de bajo FP, que la bonificación por tener un buen FP. En general el costo de la energía eléctrica que durante dicho mes consumió esta planta es \$83,815.03. Esta planta es la que tuvo más Cargo por Demanda de las tres, \$18,888.75, que es el resultado de multiplicar el costo unitario de demanda facturable \$91.25, por el total de kW de demanda facturable: 207kW. Los siguientes resultados se obtuvieron de acuerdo al análisis hecho en este trabajo.

3.2.3.1 Equipo 1

No se probó porque el motor se fue a tierra con 0.7 de aislamiento. Se presentó un circuito corto.

3.2.3.2 Equipo 2

El FP de este equipo es aceptable (0.98). La eficiencia del conjunto es baja (70.5%) debido a que la potencia de entrada al motor es 200HP y la potencia de salida de la bomba es 141HP. Se desperdician cerca de 60HP durante la operación del equipo. La energía consumida en una hora es de 144.19kW. El 29.5% de esta energía (42.53kW) es desperdiciada.

El voltaje promedio con apertura en la válvula del 100% es de 440[V], es el adecuado. El motor opera al 78% de su capacidad. Este equipo es rehabilitado.

3.2.3.3 Equipo 3

El Factor de Potencia es 0.92. La eficiencia del conjunto es baja (74.5%) ya que, la potencia de entrada al motor es 200HP y la potencia de salida de la bomba es 149HP. Se desperdician cerca de 50HP de potencia por hora durante la operación del equipo. La energía consumida en una hora es de 149kW, el 25.5% de esta energía (37.99kW) es desperdiciada. El voltaje promedio con apertura en la válvula del 100% es de 439[V], es el adecuado. El motor opera al 89% de su capacidad.

3.2.3.4 Equipo 4

El Factor de Potencia es 0.96. La eficiencia del conjunto es 80% debido a que la potencia de entrada al motor es 200HP y la potencia de salida de la bomba es 160HP. Se desperdician cerca de 40HP de potencia durante la operación del equipo. La energía consumida en una hora es de 150.06kW, el 20% de esta energía (30kW) es desperdiciada. El voltaje promedio con apertura en la válvula del 100% es de 436[V].

3.2.4 Planta de Bombeo 3

Esta planta tiene conectada una carga de 800kW, con una tarifa HM con la compañía de suministro eléctrico, demanda contratada de 800kW, multiplicador 700, con número de medidor 5A06P05.

De acuerdo a la compañía suministradora de energía eléctrica esta planta consumió 176,400 kWh durante el mes de Marzo de 2004. Estuvo operando un 57% del tiempo en horario intermedio, el resto en base. No operó sus equipos en horarios punta. Tuvo un FP de 93.82%, lo cual tuvo como bonificación \$707.75. El gasto total por concepto de energía fue \$111,158.74 m/n. Es la planta que más consumió potencia de las cuatro, por ende es la que más gasto tuvo.

3.2.4.1 Equipo 1

El FP tomado durante las pruebas, fue 0.83. La eficiencia del conjunto es baja (71.2%) ya que, la potencia de entrada al motor es 250HP y la potencia de salida de la bomba es 178HP. Se desperdician cerca de 72HP de potencia durante la operación del equipo. La energía consumida en una hora es de 187.57kW, el 28.8% de esta energía (54.02kW) es desperdiciada. El voltaje promedio con apertura en la válvula del 100% es de 425[V], se encuentra por debajo de lo normal (440[V]). El motor opera al 103% de su capacidad. Terminará su vida útil más rápido.

3.2.4.2 Equipo 2

El FP de este equipo es aceptable (0.91). La eficiencia del conjunto es de 77.65% ya que-

la potencia de entrada al motor es 250HP y la potencia de salida de la bomba es 194HP. Se desperdician cerca de 56HP de potencia durante la operación del equipo. La energía consumida en una hora es de 187.27kW, casi el 22.4% de esta energía (41.94kW) es desperdiciada. El motor trabaja al 89% de su capacidad. El voltaje promedio con apertura en la válvula del 100% es de 432[V].

3.2.4.3 Equipo 3

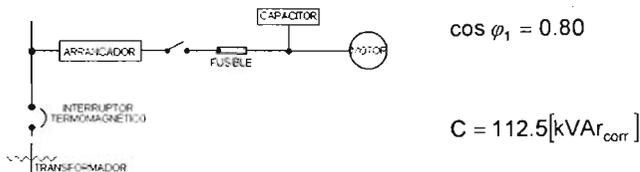
El FP es 0.91. La eficiencia del conjunto es de 85.20%. La potencia de entrada al motor es 250HP y la potencia de salida de la bomba es 177HP. Se desperdician 54HP de potencia durante la operación del equipo. La energía consumida en una hora es de 187.737kW, el 23.37% de esta energía (43.88kW) es desperdiciada. El motor trabaja al 86% de su capacidad. El voltaje promedio con apertura en la válvula del 100% es de 430[V].

3.2.4.4 Equipo 4

Este equipo se encuentra fuera de servicio, lo cual trae como consecuencia que el sistema no pueda cumplir con los valores de carga y demanda requeridos en el contrato con la compañía de suministro. El sistema de esta planta no opera al 100% de su capacidad que establece la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. Esto implica baja eficiencia operativa, deficiente nivel de servicio, bajo índice de aprovechamiento de la infraestructura, y excesivo gastos de operación por energía eléctrica.

3.3 Estrategias para el uso eficiente de energía eléctrica

Durante un año el sistema gasta por concepto de electricidad un total de: \$ 4 806 600 (cuatro millones ochocientos seis mil seiscientos). Con las siguientes medidas se podrá reducir este gasto al menos en un 5% evitarían gastar \$250 000 inútilmente, los cuales podrían emplearse en la compra de nueva infraestructura y un mejor mantenimiento.



$$\cos \phi_1 = 0.80$$

$$C = 112.5[\text{kVAr}_{\text{corr}}]$$

Figura 3.1 Localización de capacitores.

En general para mejorar el FP de los cuatro equipos, de cada una de las cuatro plantas, es necesario instalar un banco de capacitores de acuerdo a la figura 3.1. Es decir en el circuito derivado en el centro de distribución. Podría ubicarse en las terminales del motor, pero es más económico y funcional ubicar este banco en el centro de distribución, ya que manejaría a los cuatro equipos de una sola vez y nos ahorraríamos tres bancos individuales. Utilizando un banco de capacitores con una capacidad de 112 kVAr, para elevarlo valores superiores a 0.90 de FP. También se sugiere adecuar los valores de corriente y voltaje a los nominales del equipo $V = 440$ [V], $I = 233$ [A], para que al mantener la potencia nominal, el equipo, no se esfuerce.

El sistema de tierras a cada una de las cuatro plantas debe cumplir con lo siguiente.³ La malla de tierra tiene un calibre exterior 4/0 AWG e interiormente el calibre del conductor es de 2/0, esto debido a la resistencia mecánica.

La varilla o electrodo de tierra es de 3.05 m enterrada verticalmente, y se instala una en cada esquina de un calibre de 5/8 de pulgada. La malla se interconecta con uniones soldables al igual que la conexión del transformador; y se conecta al equipo motor y a las varillas de tierra con conectores mecánicos (abrazaderas).

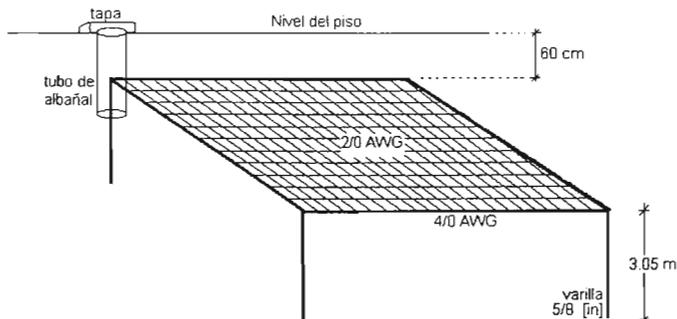


Figura 3.2 Disposición del sistema de tierras.

La malla se coloca a 60 centímetros bajo el nivel del piso, unidas a las varillas que son colocadas verticalmente en las esquinas de la malla. Conectadas a un conector mecánico el cual se debe desconectar cuando se realice alguna medición. Su resistencia es medible a través de la colocación de un tubo de albañal donde esta varilla se asoma.

La resistencia total de la malla con respecto a tierra es determinada por la expresión:

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} [\Omega]$$

Donde:

R, es el radio en metros de una placa circular equivalente, cuya área es la misma que la ocupada por la malla real de tierra.

L, es la longitud total de conductores enterrados, en metros.

ρ , es la resistividad eléctrica del terreno, en ohms-metro.

Para la subestación de 6[m] por 4[m].

Para la planta de bombeo de 4[m] por 3[m].

$$R = 10[\Omega]$$

$$R = 10[\Omega]$$

$$r = \frac{24}{2\pi} = 1.95[\text{m}]$$

$$r = \frac{12}{2\pi} = 1.38[\text{m}]$$

$$\rho = 1000[\Omega \cdot \text{m}] \text{ suelo seco}$$

$$\rho = 1000[\Omega \cdot \text{m}] \text{ suelo seco}$$

$$L = 8.45[\text{m}]$$

$$L = 5.84[\text{m}]$$

La cerca metálica debe colocarse por lo menos a dos metros afuera del límite de la malla y debe conectarse a los electrodos del sistema de tierras.

³ Norma técnica para instalaciones eléctricas para uso de energía eléctrica.

3.3.1 Planta Captación

De acuerdo a las tablas de revisión individual y en paralelo de los equipos, es recomendable abrir la válvula de desfogue de la tubería cuando esté operando este tramo del sistema, para desazolvar el acueducto.

En cuanto al consumo de energía total de la planta (tabla 2.1), se sugiere que mejorar el Factor de Potencia, ya que se encuentra en valores menores a 90%, está en 84%. Esto causa que la capacidad del motor baje hasta un 20% produciendo así un desgaste anormal del equipo. Reduce la eficiencia del sistema eléctrico y causa pérdidas de energía eléctrica por calentamiento, caídas de tensión y sobrecarga en los transformadores. Este FP debe corregirse de acuerdo a los valores de corriente (233 [A]) y voltaje (440 [V]) nominales de los equipos, ya que el exceso de corriente puede obligarnos a utilizar conductores de mayor calibre y por lo tanto más caros.

Asimismo se recomienda dejar de operar los equipos durante los horarios de punta, ya que este precio es, como ya se vio en el Capítulo 2, es el 385.21% del precio de la energía base; es decir, se paga casi cuatro veces más.

3.3.1.1 Equipos electromecánicos

Rehabilitar o sustituir los tres tipos de válvulas. Evitar utilizar el equipo 1 en forma individual, utilizarlo como de reserva y/o cerrar parcialmente la válvula hasta obtener el gasto de diseño. Cambiar los taps para elevar el voltaje a 440[V]. Cambiar el aceite del motor y sustituir el estopero. Instalación del banco de capacitores individual para cada equipo. Sustituir la válvula de compuerta. Sustituir el carrete de descarga y la junta dresser. Rehabilitar la tubería de descarga.

3.3.1.2 Transformadores

Cambiar el conductor del neutro con un calibre de 2/0 AWG, por norma este calibre debe ser el doble de la fase; cambiar el calibre del conductor para aterrizar el transformador a un calibre de 1/0 AWG, cambiar las carátulas de equipo de medición, reparar las fugas para evitar la intrusión de humedad y las fallas por bajo nivel de aceite, rehabilitar la pintura de los transformadores para su mejor conservación, cambiar las válvulas de muestreo, cambiar los empaques para evitar fugas futuras y por consiguiente las fallas irreversibles de los transformadores, rehabilitar los contenedores, y dar mantenimiento anual a los transformadores.

3.3.1.3 Arrancadores

Conectar los gabinetes al sistema de tierras para protección del personal y equipos, con un conductor de un calibre 2 AWG. Efectuar el estudio de coordinación de protecciones de los equipos antiguos. Realizar apriete, acomodo y cambio de los conectores-terminales de los alimentadores para evitar oxidaciones y la aparición de puntos calientes. Calibrar para hacer compatibles las características de los elementos de los equipos con los instrumentos de medición. Se recomienda tener especial cuidado en su mantenimiento y en su oportunidad cambiarlos por equipos más modernos.

3.3.1.4 Subestación eléctrica

Desinstalar y ajustar los mecanismos de las protecciones (cortacircuitos) y cambiar las deterioradas. Dar mantenimiento general a la subestación cambiando herrajes, conectores y aisladores en mal estado.

Rehabilitar el sistema de tierras como lo sugerido en 3.3. Rehabilitar el calibre de los buses y bajadas de los transformadores.

3.3.2 Planta de Bombeo 1

Para eliminar los asentamientos (azolve), se recomienda dar limpieza al acueducto, mediante la operación de la válvula de desfogue, que para tal fin se instaló en la parte baja de la línea de conducción. Según se decida acerca de los equipos 1 y 2; uno puede quedar de reserva y el restante se puede cerrarse parcialmente su válvula para obtener su gasto adecuado. Hasta que los dos mejoren este aspecto y entren nuevamente a funcionamiento normal de operación.

3.3.2.1 Tren de descarga

Rehabilitar o sustituir las válvulas.

3.3.2.2 Equipos Electromecánicos

Cambiar los taps. Sustituir el estopero. Cambiar el aceite del motor. Evitar utilizar el equipo 1 en forma individual. Instalar el banco de capacitores. Cambiar el aceite del motor. Rehabilitar las válvulas. Adecuar los valores nominales de corriente y de voltaje.

3.3.2.3 Transformadores

Cambiar el conductor adecuado en el neutro 2/0 AWG, (50% del calibre de la fase). Cambiar el calibre del conductor para aterrizar el transformador como mínimo 1/0 AWG. Cambiar las carátulas del equipo de medición. Reparar las fugas para evitar la intrusión de humedad o falla por bajo nivel de aceite. Rehabilitar la pintura de la carcasa de los transformadores para su mejor conservación. Cambiar las válvulas de muestreo. Cambiar los empaques para evitar fugas futuras y por consiguiente las fallas irreversibles de los transformadores. Rehabilitar los contenedores de aceite.

3.3.2.4 Arrancadores

Conectar los gabinetes al sistema de tierras, para protección del personal y equipo, con un conductor de calibre 2 AWG. Efectuar el estudio de coordinación de protecciones de los equipos antiguos. Realizar apriete, acomodo y cambio de los conectores-terminales de los alimentadores para evitar oxidaciones y la aparición de puntos calientes.

3.3.2.5 Subestación eléctrica

Desinstalar y ajustar los mecanismos de las protecciones (cortacircuitos) y cambiar las-

deterioradas. Dar mantenimiento general a las subestaciones cambiando herrajes, conectores y aisladores en mal estado. Cambiar los cables para buses y bajadas de bancos de transformadores a unos de un calibre de 1/0 AWG. Reconstruir el sistema de tierras. Construir un sistema de pararrayos independiente del sistema de tierras.

3.3.3 Planta de Bombeo 2

3.3.3.1 Tren de descarga

Dar limpieza al acueducto, mediante la operación de la válvula de desfogue. Rehabilitar la válvula aliviadora de presión.

3.3.3.2 Equipos electromecánicos

Rehabilitar las válvulas; cambiar el aceite de los motores, rehabilitar los estopero y la junta dresser. Sustituir el motor del equipo 1 por uno de alta eficiencia.

3.3.3.3 Transformadores

Cambiar el conductor adecuado en el neutro 2/0 AWG, por norma es el 50% del calibre de la fase. Cambiar el calibre de del conductor para aterrizar el transformador, a 1/0 AWG. Cambiar las válvulas de muestreo y globo. Cambiar los empaques para evitar fugas y por consiguiente las fallas irreversibles de los transformadores. Rehabilitar los contenedores. Dar mantenimiento constante a los transformadores.

3.3.3.4 Arrancadores

Conectar los gabinetes al sistema de tierras para protección del personal y equipo, con un conductor de calibre de 2 AWG. Efectuar el estudio de coordinación de protecciones de los equipos antiguos. Realizar apriete, acomodo y cambio de los conectores terminales de los alimentadores para evitar oxidaciones y la aparición de puntos calientes. Calibrar las protecciones. Calibrar el equipo de medición. Rehabilitar los equipos marca Siemens.

3.3.3.5 Subestación eléctrica

Desinstalar y ajustar los mecanismos de las protecciones (cortacircuitos) y cambiar las deterioradas. Dar mantenimiento general a las subestaciones cambiando herrajes, conectores y aisladores en mal estado. Cambiar los conductores para buses y bajadas de bancos de transformadores. Rehabilitar el sistema de tierras.

3.3.4 Planta de Bombeo 3

3.3.4.1 Tren de descarga

Desmontar la válvula existente e instalar la válvula nueva. Rehabilitar la válvula de compuerta.

3.3.4.2 Equipos Electromecánicos

Cambiar el aceite del motor; rehabilitar las válvulas check y de compuerta; cambiar los taps para corregir el voltaje. Instalar un banco de capacitores con una capacidad de 112 kVAR en el circuito derivado del centro de distribución; Para el equipo 4 es necesario instalar un nuevo motor, de preferencia "de alta eficiencia". Instalar una nueva válvula de alivio de presión (existente).

3.3.4.3 Transformadores

Cambiar el conductor por uno adecuado al neutro 2/0 AWG, (50% del calibre de la fase). Cambiar el calibre del conductor de tierra del transformador (1/0) AWG. Cambiar las carátulas del equipo de medición. Reparar las fugas para evitar la intrusión de humedad o una falla por bajo nivel de aceite. Rehabilitar la pintura de los transformadores para su mejor conservación. Cambiar los empaques para evitar fugas futuras y por consiguiente las fallas irreversibles. Rehabilitar los contenedores. Dar mantenimiento anual a los transformadores.

3.3.4.4 Arrancadores

Conectar los gabinetes al sistema de tierras para protección del personal y equipo, con un conductor de calibre de 2 AWG. Efectuar el estudio de coordinación de protecciones de los equipos antiguos. Realizar apriete, acomodo y cambio de los conectores terminales de los alimentadores para evitar oxidaciones y la aparición de puntos calientes. Calibrar las protecciones. Calibrar el equipo de medición. Rehabilitar los equipos marca Siemens (disyuntores).

3.3.4.5 Subestación eléctrica

Desinstalar y ajustar los mecanismos de las protecciones (cortacircuitos) y cambiar las deterioradas. Dar mantenimiento general a las subestaciones cambiando herrajes, conectores y aisladores en mal estado. Cambiar los conductores para buses y bajadas de bancos de transformadores. Rehabilitar el sistema de tierras.

Conclusiones

El sistema de agua potable Acahuizotla capta el agua subterránea de las grutas del ecosistema de la demarcación.

La obra de captación está formada por un cárcamo ubicado en la planta de bombeo Captación, que capta el principal gasto del sistema, y por pequeñas entradas a lo largo del acueducto de diferentes manantiales que sólo contribuyen al gasto del sistema en época de lluvias. El acueducto llega a la zona urbana de la ciudad de Chilpancingo Guerrero. Además, tiene cuatro plantas de rebombeo que contienen cuatro equipos electromecánicos de bombeo cada uno, los cuales un 18% de éstos no funciona. La longitud del acueducto es de 29 Kilómetros y está construido por tubos de acero y tubos de asbesto de 8 pulgadas de diámetro, y la tubería del múltiple es de 16 pulgadas de diámetro. El gasto de este acueducto es de 133.75 litros por segundo y puede aumentar de valor hasta en un 43% en época de lluvias.

Se realizaron pruebas y mediciones en bombas, motores, líneas de conducción, y en subestaciones.

Las bombas son de tipo vertical, de las cuales se consideran tres en operación y una de reserva, su capacidad es de 60 lps. Los motores son de 200 HP de capacidad con un transformador de 225 kVA cada uno.

Las facturas de consumo eléctrico durante el mes de marzo del 2004, según la compañía suministradora de energía eléctrica, de cada una de las plantas, mostraron que se consume muchísima energía ya que se tiene un promedio de gastos por consumo de energía eléctrica por cada una de \$100,137.504 durante dicho mes. Anualmente cada una de las plantas paga alrededor de \$1, 201 650.04; es decir, todo el sistema anualmente paga por concepto de energía eléctrica alrededor de 5 millones de pesos. Si tan siquiera se ahorrará un mínimo de 5%, el sistema podría invertir unos \$250, 000 en nueva infraestructura.

Para mejorar el sistema electromecánico del acueducto, es necesario reemplazar las bombas por unas nuevas, ya que hay algunas que tienen una eficiencia por debajo del 50%. Asimismo se sugiere reemplazar los motores por unos de alta eficiencia (que tengan reducción de pérdidas de hasta 35%). En algunas plantas es inminente este cambio, aprovechando que unos motores están inservibles, se sugiere la sustitución de una vez por todas por unos eficientes. Como es el caso de las plantas de bombeo 2 (equipo 1), y 3 (equipo 4). El precio¹ de cada uno de estos motores es de US\$ 4,575.00. Es decir se invertirían \$100 650 pesos por la sustitución de este par de motores, lo cual si es posible por que se amortiguarían con la suma del ahorro de energía y Aún sobrará \$150 000 pesos para mantenimiento preventivo y realizar los cambios sugeridos a la infraestructura de cada una de las plantas.

De acuerdo a los resultados arrojados por el estudio a los equipos electromecánicos se concluye que:

¹ Página web Westinghouse. 8 Diciembre 2004.

La Planta Captación tiene equipos en mal funcionamiento, las válvulas de compuerta y check tienen fugas. Tiene contratada la tarifa industrial HM y una carga conectada y contratada de 640kW, según la compañía suministradora de energía eléctrica en el mes de marzo del 2004 tuvo un FP de 84.84%, el cual le costó un recargo de casi \$2500 y tuvo un consumo de 156,960 kWh. La planta consumió 240kWh en este mes en horario punta; que aumenta el costo de la energía hasta cuatro veces. Aunque mínimo, cada mes podría aumentar el consumo en este horario. Hay que evitarlo definitivamente.

En el equipo 1, la bomba consume mucha corriente eléctrica y proporciona un gasto mayor al de su diseño. El motor opera a mayor capacidad de su diseño, esto esta deteriorándolo con rapidez. La eficiencia del equipo es de 97.5%, tiene un FP promedio de 80%, según el estudio. Consume una potencia eléctrica de 148.84 kW en una hora de operación. Se sugiere rehabilitar los tres tipos de válvulas, además de evitar utilizar el equipo en forma individual, utilizándolo como de reserva y/o cerrar parcialmente la válvula hasta obtener el gasto de diseño. Se sugiere asimismo, mejorar el Factor de Potencia a valores superiores del 90%, adecuando los valores de corriente y voltaje a los nominales del equipo, para que el FP sea el justo, de acuerdo a la potencia eléctrica requerida por el equipo. Cambiar los taps para elevar el voltaje a 440[V]. De esta forma aumentará la eficiencia y se corregirán los excesos de consumo de energía eléctrica.

Equipo 2. La eficiencia del equipo es de 79.5%, tiene un FP promedio de 89%, según el estudio. Consume una potencia eléctrica de 148.64kW en una hora de operación. El voltaje promedio con apertura en la válvula del 100% es de 417[V]. Se sugiere cambiar el aceite del motor y rehabilitar el estopero, mejorar la eficiencia de este equipo. Mejorar el FP a valores superiores a 90%. Se concluye que a partir de las mejoras de este equipo, disminuirán las pérdidas de potencia y el consumo eléctrico; se mejorará la eficiencia del conjunto. Se evitara recargos por parte de la compañía suministradora de energía eléctrica ya que mejoraría la función del sistema eléctrico del acueducto.

Equipo 3. El transformador no alimenta correctamente, este equipo ya ha sido rehabilitado anteriormente. La eficiencia del equipo es de 81%, tiene un FP promedio de 93%, según el estudio. Consume una potencia eléctrica de 149.24kW en una hora de operación. Se ha sugerido en este proyecto, cambiar el aceite del motor, cambiar los taps para corregir el voltaje de 435[V] a 440[V], y sustituir la válvula de compuerta. De este modo mejorará el desempeño y la operación de este equipo y en conjunto mejorará el sistema eléctrico y disminuirá las facturas de energía eléctrica.

Con respecto al equipo 4, no está conectado al múltiple, y está fuera de operación. Se sugiere sustituir el carrete de descarga y la junta dresser. Rehabilitar la válvula de compuerta y la tubería de descarga. Conectar este equipo al sistema y mantenerlo al menos como de reserva, ya que de otra manera se está faltando con la carga contratada con la compañía suministradora de energía eléctrica. En el caso extremo de tener este equipo fuera de operación por un período de tiempo, se debe rehacer el contrato para adecuar la carga y evitarse los cargos por consumo mínimo de energía, que establece la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. De esta manera estará contribuyendo al buen funcionamiento de esta planta y consumirá energía un poco más eficientemente.

Planta de Bombeo 1. El tren de descarga tiene en malas condiciones las válvulas de compuerta, check y aliviadora de presión. Los motores tienen en mal estado el aceite. En las bombas existen fugas en las válvulas de compuerta, check y las juntas dresser.

Los equipos 1 y 4 proporcionan un gasto menor al de diseño, y por consiguiente tienen un alto amperaje, operan a mayor corriente de la nominal y acabarán pronto su vida útil. Los transformadores no alimentan correctamente a los motores, entregan un voltaje menor al deseado. Tiene contratada la tarifa industrial HM, con carga conectada y contratada de 640kW, según la compañía suministradora de energía eléctrica en el mes de marzo del 2004 tuvo un FP 92.03% y un consumo de 152,400 kWh.

El equipo 1 fue rehabilitado anteriormente, la bomba proporciona un gasto menor al de diseño y tiene una eficiencia del 67%. El motor tiene una eficiencia de del 66%. En conjunto tienen una eficiencia de 44.5%. Tiene un FP promedio de 98%, según el estudio. Consume una potencia eléctrica de 82.18kW en una hora de operación. Se ha sugerido cambiar los taps para corregir el voltaje de 423[V] a 440[V]; rehabilitar el estopero, cambiar el aceite del motor. Evitar utilizar el equipo en forma individual, utilizarlo como de reserva. Mejorar la eficiencia de este equipo, ya que está en niveles por abajo del 50%. Se sugiere mejorar estos niveles para que el equipo tenga buen uso y se aproveche su capacidad. Así será más útil y eficiente. Esto coadyuvará a mejorar el sistema eléctrico de la planta y asimismo el del sistema en general.

El equipo 2, tiene un motor que opera al 104% y esto menguará su vida útil, este equipo nunca ha sido rehabilitado. La eficiencia del equipo es de 87.5%, tiene un FP promedio de 80%, según el estudio. Consume una potencia eléctrica de 150.08 kW en una hora de operación. Se sugiere cambiar el aceite del motor, rehabilitar el estopero y las válvulas. Evitar su uso en forma individual, utilizarlo como de reserva y / o cerrar parcialmente la válvula hasta obtener el gasto de diseño. Cambiar los taps para corregir el voltaje de 434[V] a 440[V]. Así se pretende no malgastar la energía eléctrica y desgastar los equipos en vano.

El equipo 3, La eficiencia del equipo es de 75%, tiene un FP promedio de 90%, según el estudio. Consume una potencia eléctrica de 150.15kW en una hora de operación. Se sugiere rehabilitar las válvulas, la junta, y el estopero. Cambiar los taps para corregir el voltaje de 417[V] a 440[V].

El equipo 4, La eficiencia del equipo es de 61.5%, tiene un FP promedio de 92%, según el estudio. Consume una potencia eléctrica de 84.13kW en una hora de operación. Se sugirió rehabilitar las válvulas, cambiar los taps para corregir el voltaje de 417[V] a 440[V], mejorar la eficiencia. La potencia consumida por este equipo es muy baja es de 84.13kW, se sugiere adecuarla a los valores nominales adecuando el valor de corriente y de voltaje.

Planta de Bombeo 2. El tren de descarga tiene en malas condiciones la válvula aliviadora de presión. Todos sus motores tienen en mal estado el aceite. En las bombas existen fugas en las válvulas de compuerta, check y las juntas dresser; tiene contratada la tarifa industrial HM y tiene una carga conectada y contratada de 640kW. Según la compañía suministradora de energía eléctrica en el mes de marzo del 2004, tuvo un FP 99.95% y tuvo un consumo de 112,800kWh.

En el equipo 1 no se realizaron las pruebas porque el motor se fue a tierra con 0.7 de aislamiento. Se hizo la revisión en vacío, obteniendo un voltaje del 120%. Las válvulas check, de compuerta y válvula de alivio de presión presentaron fugas. Este equipo no ha sido rehabilitado. Se recomienda rehabilitar en general este conjunto, para que esté hábil para operarse al menos como de reserva.

El equipo 2 opera adecuadamente; ya se ha rehabilitado anteriormente. La eficiencia del equipo es de 70.5%, tiene un FP promedio de 98%, según el estudio. Consume una potencia eléctrica de 144.19kW en una hora de operación. Se sugiere rehabilitar las válvulas y mejorar la eficiencia.

El equipo 3, el motor y la bomba operan adecuadamente. La eficiencia del equipo es de 74.5%, tiene un FP promedio de 92%, según el estudio. Consume una potencia eléctrica de 149kW en una hora de operación. Se sugiere cambiar el aceite del motor, rehabilitar el estopero y la válvula check.

El equipo 4, tiene una eficiencia de 80% y un FP promedio de 96%, según el estudio. Consume una potencia eléctrica de 150kW en una hora de operación. Se recomienda rehabilitar la válvula check y la junta dresser.

Planta de Bombeo 3, El tren de descarga tiene en malas condiciones la válvula aliviadora de presión. Todos sus motores tienen en mal estado el aceite. En las bombas existen fugas en las válvulas de compuerta, check y las juntas dresser. Tiene contratada la tarifa industrial HM y una carga conectada y contratada de 800kW, según la compañía suministradora de energía eléctrica en el mes de marzo del 2004, tuvo un FP 93.82% y un consumo de 176,400kWh.

El equipo 1. El motor está operando 2% más de su capacidad original de diseño. La eficiencia del equipo es de 71.2%; tiene un FP promedio de 83%, según el estudio. Consume una potencia eléctrica de 187.57kW en una hora de operación. Se recomienda cambiar el aceite del motor, rehabilitar las válvulas check y de compuerta, cambiar los taps para corregir el voltaje de 425[V] a 440 [V]. Mejorar la eficiencia, elevar el FP a valores superiores a 90%, asimismo bajar la corriente, ya que está demasiada elevada 307[A], para conservar el valor de potencia nominal del conjunto. Manejar el equipo como de reserva. De esta manera coadyuvara al mejor rendimiento del sistema y disminuirán los gastos por concepto de operación.

El motor del equipo 2 opera 3% más de su capacidad, la bomba opera adecuadamente. Se ha rehabilitado anteriormente. La eficiencia del equipo es de 77.6%, tiene un FP promedio de 91%, según el estudio. Consume una potencia eléctrica de 187.27kW en una hora de operación. Se recomienda rehabilitar las válvulas y cambiar los taps para corregir el voltaje de 432[V] a 440[V]. Ajustar el valor de corriente, ya que éste es muy elevado (309%). Adecuar la capacidad del motor para conservar su vida útil.

El motor y la bomba del equipo 3 operan adecuadamente. La eficiencia del equipo es de 85.20%, tiene un FP promedio de 91%, según el estudio. Consume una potencia eléctrica de 187.73kW en una hora de operación. Se sugiere cambiar el aceite del motor, rehabilitar las válvulas y cambiar los taps para corregir el voltaje de 430 a 440[V].

El equipo 4 está fuera de operación por estar en malas condiciones el motor y la válvula de alivio de presión. Se recomienda instalar un motor nuevo, de preferencia "eficiente". Instalar la nueva válvula de alivio de presión (existente) y rehabilitar la válvula de compuerta. Poner este equipo en funcionamiento para cubrir la demanda contratada con la compañía suministradora de energía eléctrica. Ya que trae como consecuencia que el sistema no puede cumplir con los valores de carga y demanda requeridos en el contrato con la compañía de suministro, por lo que se le aplica un cargo mínimo mensual.

Los problemas que podría enfrentar, son frecuentemente baja eficiencia operativa, deficiente nivel de servicio, bajo índice de aprovechamiento de la infraestructura; esto trae como consecuencia que los sistemas electromecánicos no operen al 100 % de su capacidad y estén sobredimensionados.

En general los transformadores de los dieciséis motores no cuentan con el calibre del cable adecuado para el neutro, que es como mínimo el 50% del calibre de la tierra y el positivo. Esto puede ocasionar accidentes debido a sobrecalentamiento. No están conectados a un sistema general de tierra y el cable de tierra física tampoco es el adecuado; las carátulas de sus equipos de medición son ilegibles, presenta fugas de aceite, los contenedores están contaminando el subsuelo. Esto definitivamente se tiene que corregir, ya que además de estar consumiendo energía en exceso, se está afectando al ecosistema de la demarcación.

Los arrancadores de los dieciséis equipos no tienen conectada ninguna tierra física a su gabinete, los contactos tienen carbonización, y el equipo de medición no se encuentra calibrado.

La subestaciones eléctricas de las cuatro plantas tienen en malas condiciones las protecciones en alta tensión; las bajadas de tierra a apartarrayos no son del calibre adecuado, al igual que el calibre de los buses y bajadas de los transformadores; no existe sistema de pararrayos. Esto puede causar accidentes y además de poner en riesgo al equipo, pone en riesgo al personal.

Se encontró en general en el estudio que existen factores en el sistema electromecánico que están elevando el consumo de energía eléctrica:

El bajo Factor de Potencia, el cual está afectando la capacidad de los motores y de sus transformadores. Además de que se está pagando más por la electricidad, el bajo Factor de Potencia está reduciendo la eficiencia del sistema eléctrico de distribución y está causando pérdidas por calentamiento, caídas de tensión y sobrecarga a los transformadores. Por esta razón es necesario colocar bancos de capacitores en el sistema de distribución de cada una de las plantas. Aunado a esto se hace notar la presencia de cargas no lineales en el sistema constituidas por semiconductores.

Existen también en el sistema eléctrico del acueducto, pérdidas de potencia ya que las condiciones de operación de los motores son incorrectas debido a que ya que están operando con tensiones y corrientes diferentes a las nominales y algunos tienen desperfectos, como aquel que se fue a tierra durante el estudio. La magnitud de las pérdidas están disminuyendo la eficiencia de los motores.

Emplear motores de mayor eficiencia, reduciría las pérdidas de potencia y los costos de operación. Se sugiere emplear motores de alta eficiencia, que tienen rendimientos de hasta un 96% y cuyo costo adicional sobre los convencionales se podría pagar rápidamente con los ahorros que se tienen en el consumo de energía eléctrica.

Los motores operados en vacío o con baja carga, se producen una reducción del Factor de potencia, lo que provoca sobrecalentamiento en los equipos e instalaciones. Lo recomendable es operar los equipos a su máxima capacidad en $\frac{3}{4}$ y $\frac{4}{4}$ de su potencia, así se obtendrá el máximo rendimiento de éstos.

Con respecto a los voltajes desbalanceados, el estándar (NEMA) nos recomienda que la variación del voltaje de línea no exceda $\pm 5\%$ respecto al voltaje nominal. Algunos motores dentro de las instalaciones del acueducto se acercan a este porcentaje notablemente, tal como el equipo 1 de la Planta de Bombeo 1 que tiene un porcentaje de 4.54% de voltaje desbalanceado de la fase 3. Esto implica pérdidas de energía, debido al incremento de corriente para mantener la potencia del equipo constante. Se sugiere operar en la vecindad del 1%; de esta manera se incrementará la eficiencia y como consecuencia habrá menor consumo de energía. Si es posible invertir en motores de alta eficiencia ya que son más tolerantes a las variaciones de voltaje gracias a su diseño y construcción. Se sugiere de igual manera; para proteger a los motores de problemas tales como: alta y baja tensión, sobrecorrientes, sobrecargas, corriente de corto circuito, inversión de fase, falla de fase; instalar en el sistema un relevador de protección integral.

Se deben instalar controladores de demanda con el fin de mantener la demanda máxima de energía eléctrica bajo control, de manera que se hagan ciclos de trabajo.

Igualmente se deben instalar motores eficientes que tienen un bajo grado de pérdidas, y consume 25 % menos energía eléctrica que un motor eléctrico estándar.

Y es inminente la urgencia de colocar bancos de capacitores para mejorar el FP que proporcionen la potencia reactiva [kVAr] necesaria para que el FP esté por encima de lo estipulado por la compañía de suministro (0.90).

Este sistema debe caer dentro de las normas vigentes (NOM) que exige la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca de México, a la que pertenece la Comisión Nacional del Agua, que es la que regula al organismo operador de este acueducto.

Dentro de las instalaciones del acueducto existen equipos eléctricos con múltiples años de uso, operando con bajos niveles de eficiencia y con parámetros que difieren de sus valores nominales de placa. Si se logrará mejorar estos sistemas en al menos 1% se tendrían ahorros sustantivos de por lo menos 60 000 anuales, los cuales podrían invertirse dentro del mismo ramo, de tal manera que podrían rehabilitar tales sistemas, o en su caso instalar nueva infraestructura eléctrica eficiente en términos de energía eléctrica.

Este sistema gasta anualmente siete millones de pesos anualmente en consumo por energía. Este proyecto coadyuvará a mantener la eficiencia y la operación del sistema electromecánico en buenas condiciones, asimismo a mejorar los parámetros para que los equipos, estaciones y sistemas operen eficientemente y logrará una considerable disminución en el pago por consumo a la compañía de suministro de energía eléctrica.

El ahorro de electricidad se puede conseguir mediante sistemas avanzados de control de potencia, la instalación de motores eléctricos eficientes, y mecanismos motores; así mismo se debe evitar el cargo por parte de la compañía suministradora de energía eléctrica debido al uso de energía en momentos de máximo costo.

El ahorro de energía eléctrica sólo se podrá conseguir si se introduce el proyecto con un seguimiento riguroso. Es urgente, el ahorrar y usar racionalmente la energía eléctrica en el Sector Hidráulico Nacional, ya que traerá beneficios económicos y sociales a largo plazo.

Bibliografía

La presente investigación está elaborada íntegramente con base a las normas NOM, la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, y los siguientes organismos, empresas, libros y documentos:

Asociación Nacional de las Industrias del Bombeo e Ingeniería, A.C.
Bombas Alemanas, S.A. de C.V. Folletos 2003.
Bombas Goulds, S.A. de C.V. Folletos 2003
Bombas Peerless de México, S.A. de C.V. Folletos 2003
Cámara Nacional de La Industria de la Construcción.
Comisión Federal de Electricidad. Facturas de consumo y página web.
Comisión Nacional del Agua. Documentos de la Gerencia de Estudios y Proyectos
Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. Folletos.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Distrito Federal.
Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico.
Fideicomiso para de Ahorro de Energía Eléctrica. Discos Compactos 2002.
Industrias Medina, S.A. de C.V. Folletos 2003
Instituto de Investigaciones Eléctricas.
KSB Mexicana, S.A. de C.V. Folletos 2003
Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
NOM 001 1999.
Petróleos Mexicanos.
Plan Nacional de Desarrollo.
Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico.
Programa Nacional Hidráulico.
Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas.
Teco Westinghouse. Archivo PDF de motores.
Energy Efficiency Test Methods for Three-Phase Induction Motors. CSA C390.
Motors and Generators. CSA C22.2400.
Rotating Electrical Machines. Part 1: Rating and Performance. IEC 34 PT-1.
Rotating Electrical Machines. Part 2: Methods for Determining Losses and Efficiency of Rotating Electrical Machines. IEC 34 PT-2.
IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators. IEEE Std. 112.

IEEE Standard Guide Applying Harmonic Limits on Power Systems. IEEE Std. 519.

Motors and Generators, MG 1. NEMA.

Aparatos Eléctricos - Máquinas Rotatorias Parte 1: Motores de Inducción de Corriente Alterna del Tipo de Rotor en Cortocircuito, en Potencias desde 0,062 a 373 kW – Especificaciones. NMX4-075.

Aparatos Eléctricos - Máquinas Rotatorias Parte 2: Motores de Inducción de Corriente Alterna del Tipo de Rotor en Cortocircuito, en grandes Potencias - Especificaciones. NMX-J-075.

López Cualla Ricardo Alfredo. Diseño de Acueductos y Alcantarillados. 2ª edición México, Alfaomega, 1999.

John C. Andreas Energy Efficient Electric Motors, Marcel Dekker, Inc, 1992, USA.

Bombas centrífugas Igor J.Karassik Compañía editorial continental, 9 impresión 1980 México.

Descripción de los sistemas de bombeo

Planta de Bombeo Captación

Descripción	Equipo de Bombeo			
	1	2	3	4
DATOS GENERALES				
CONSTRUCCIÓN:				
Inicio de operación	1975			
LÍNEA DE CONDUCCIÓN:				
Tipo de material	Acero y asbesto cemento			no
Diámetro interior original (mm)	394			está
Diámetro interior real (mm)	350			conectado
Espesor de la incrustación (mm)	22			al
Coefficiente de fricción "f" de Darcy tubería de acero	0.02503			múltiple
Coefficiente de fricción "f" de Darcy tubería de asbesto	0.014			
Longitud (m)	2,128.05 y 231.75			
Nombre del sitio de descarga	Cárcamo de la P.B.1			
Desnivel topog. Entre brocal y sitio de descarga (m)	150.87			
NIVELES:				
Elevación Del brocal (msnm)				
Elevación de la clave tubería del múltiple	732.5			
Elevación de la clave de tubo en sitio de descarga	883.37			
Prof. (m) del pozo ó cárcamo (losa superior - fondo)	5.20	5.20	5.20	
Nivel estático(m)	1.00	1.00	1.00	
Nivel dinámico (m)	3.5	3.50	3.50	
Sumergencia (m)	1.09	1.09	1.09	
GASTOS:				
Gasto original (lps)	60	60	60	
Tipo de aforo actual	Pitometría ¹	Pitometría	Pitometría	
Gasto actual, apertura válvula 50% (lps)	77.63	63.18		
Gasto actual, apertura válvula 75% (lps)	79.92	65.40		
Gasto actual, apertura válvula 100% (lps)	82.71	67.55	68.91	
Horario de servicio (h)	24	24	24	
CARGAS Y PRESIONES:				
Carga dinámica original (mca)	180	180	180	
Carga dinámica real de campo	179.10	179.10	179.10	
Presión manométrica en múltiple (mca)	175	175	175	
Presión manométrica en válv. inserción (mca)	128.00	125.00	126.00	
Elevación de la clave tubería del múltiple	732.50	732.50	732.50	
Elevación de la clave tubería (válv. inserción)	763.66	763.66	763.66	
Desnivel topog. Manómetro múltiple - válv. Inserción (m)	31.16	31.16	31.16	

Tabla a1. Ficha Técnica - bombas de la planta de bombeo " Captación".

Donde no se indican datos, significa que se carece de información, o que estaba fuera de servicio alguna de sus partes: o en su totalidad y no se pudieron hacer las mediciones.

¹ Pitometría: Medición de las velocidades de los fluidos.

Descripción	Equipo de Bombeo			
	1	2	3	4
ÁREA ELÉCTRICA: Datos Particulares				
MOTOR (Datos de placa):				
Tipo				
Marca	U.S. MEXICO	U.S. MEXICO	U.S. MEXICO	U.S. MEXICO
Serie No.	O11-H624-M02	H624-A12-H	24826130	24826130
Modelo	H624	H624	7148	7148
Potencia [HP]	200	200	200	200
Factor de Servicio	1.15	1.15	1.15	1.15
Velocidad medida en campo (rpm)	1740	1760	1760	1765
Velocidad en placa (rpm)	1775	1775	1775	1775
Fases	3	3	3	3
Frecuencia [Hz]	60	60	60	60
Armazón	445 TP	455 TP	445 TP	445 TP
Tipo	RU	RU	RU	RU
Diseño	B	B	B	B
Clave	B	B	G	G
Clase de aislamiento	E	E	B	B
Voltaje	460	460	440	440
Amp. Alto Voltaje	233	233	244	233
BALEROS:				
Sup. Carga	29422EJ	29422-EJ	29322-E	29322-E
Infer. de guía	6215-J	6215-J	6215-J	6215-J
Capacidad de aceite:				
Balero sup.		4	4	
Balero inferior				
Eficiencia NOM – NEMA	93.60	93.60		
SUBESTACIÓN				
Tipo				
Transformador:				
Capacidad [KVA]	225	225	225	225
Marca	EMSA	EMSA	EMSA	CEB
Serie No.	7679	7680	7658	1551097
Tensión primaria [V]	13200	13200	13200	13200
Arrancador:				
Marca	Siemens			
Tipo	K981			
Capacidad [V]	440			
Potencia [Hp]	200			
Ajuste	200-300A			
Frecuencia [Hz]	60			
Control	440V			
Serie No.	6977731-1			
Norma	NOM-L-328-1978			
Catálogo	AC2/AC3			

Tabla a2. Ficha Técnica - Motores de la planta de bombeo "Captación".

Planta de Bombeo 1

Descripción	Equipo de Bombeo			
	1	2	3	4
DATOS GENERALES				
CONSTRUCCIÓN:				
Inicio de operación	1975			
LÍNEA DE CONDUCCIÓN:				
Tipo de material	Acero			
Diámetro interior original (mm)	394			
Diámetro interior real (mm)	363			
Espesor de la incrustación (mm)	15.5			
Coefficiente de fricción 'f' de Darcy tubería de acero	0.0177			
Longitud (m)	1,294.08			
Nombre del sitio de descarga	Cárcamo de la PB 2			
Desnivel topog. Entre brocal y sitio de descarga (m)	159.47			
NIVELES:				
Elevación Del brocal (msnm)				
Elevación de la clave tubería del múltiple	889.40			
Elevación de la clave de tubo en sitio de descarga	1048.87			
Prof. (m) del pozo ó cárcamo (losa superior - fondo)	5.55	5.55	5.55	5.55
Nivel estático(m)	1.20	1.20	1.20	1.20
Nivel dinámico (m)	3.80	3.80	3.80	3.80
Sumergencia (m)	1.75	1.75	1.75	1.75
GASTOS:				
Fecha del aforo original				
Tipo de aforo original				
Gasto original (lps)	60	60	60	60
Tipo de aforo actual	Pitometría	Pitometría	Pitometría	Pitometría
Gasto actual, apertura válvula 50% (lps)	27.62	66.48		43.01
Gasto actual, apertura válvula 75% (lps)	34.59	70.81		47.26
Gasto actual, apertura válvula 100% (lps)	37.65	74.44	63.86	52.19
Horario de servicio (hr)	24	24	24	24
CARGAS Y PRESIONES:				
Carga dinámica original (mca)	180	180	180	180
Carga dinámica real de campo	179.30	179.30	179.30	179.30
Presión manométrica en múltiple (mca)	175	175	175	175
Presión manométrica en válv. Inserción (mca)	155.00	155.00	155.00	155.00
Elevación de la clave tubería del múltiple	889.40	889.40	889.40	889.40
Elevación de la clave tubería (válv. inserción)	899.20	889.20	889.20	889.20
Desnivel topog. Manómetro múltiple-válv. Inserción (m)	9.80	9.80	9.80	9.80
Diferencia de medición de presiones entre múltiple y la válvula de inserción	10.20	10.20	10.20	10.20

Tabla a3. Ficha Técnica - bombas de la planta de bombeo 1.

Descripción	Equipo de Bombeo			
	1	2	3	4
AREA ELÉCTRICA: Datos Particulares				
MOTOR (Datos de placa):				
Tipo				
Marca	U.S. MEXICO	U.S. MEXICO	U.S. MEXICO	U.S. MEXICO
Serie No.	024826030	6349-B01A325	02404822	H624-A12-M-B08
Modelo	7148			
Potencia [HP]	200	200	200	200
Factor de Servicio	1.15	1.15	1.15	1.15
Velocidad medida en campo (rpm)	1760	1760	1760	1760
Velocidad en placa (rpm)	1773	1775	1500,1800	1775
Fases	3	3	3	3
Frecuencia [Hz]	60	60	50, 60	60
Armazón	445 TP	455 TP	1505 P	
Tipo	RU	RU	HU	RU
Diseño	B	DP	B	B
Clave	G	B	F	G
Clase de aislamiento	G	G		
Voltaje	440	460	440	460
Amp. Alto Voltaje	243.503	233	235	233
BALEROS:				
Sup. Carga	29322-E	7322-M	7226	29422-EJ
Infer. de guía	6215-J	6215-J	6215-J	6215-J
Capacidad de aceite:				
Balero sup.	4	4	7	4
Balero inferior			3	
Eficiencia NOM – NEMA		93.60		93.60
SUBESTACIÓN				
Tipo				
Transformador:				
Capacidad [KVA]	225	225	225	225
Marca	EMSA	EMSA	CEB	CEB
Serie No.	7682	7683	1161097	1561097
Tensión primaria [V]	13200	13200	13200	13200
Arrancador:				
Marca		Siemens		Siemens
Tipo		K981		K981
Capacidad [V]		440		440
Potencia [Hp]		200		200
Ajuste		200-300A		200-300A
Frecuencia [Hz]		60		60
Control		440V		440V
Serie No.				
Norma		NOM-L-328-1978		NOM-L-328-1978
Catálogo		AC2/AC3		AC2/AC3

Tabla a4. Ficha Técnica - Motores de la planta de bombeo 1.

Planta de Bombeo 2

Descripción	Equipo de Bombeo			
	1	2	3	4
DATOS GENERALES				
CONSTRUCCIÓN:				
Inicio de operación	1975			
LÍNEA DE CONDUCCIÓN:				
Tipo de material	Acero, asbesto y acero			
Diámetro interior original (mm)	394			
Diámetro interior real (mm)	375			
Espesor de la incrustación (mm)	9.5			
Coefficiente de fricción "f" de Darcy tubería de acero	0.05121			
Coefficiente de fricción "f" de Darcy tubería de asbesto	0.014			
Longitud (m)	1,334.40 973.57 y 115.36			
Nombre del sitio de descarga	Cárcamo de la PB 3			
Desnivel topog. Entre brocal y sitio de descarga (m)	139.71			
NIVELES:				
Elevación Del brocal (msnm)				
Elevación de la clave tubería del múltiple	1055.21			
Elevación de la clave de tubo en sitio de descarga	1194.92			
Prof (m) del pozo ó cárcamo (losa superior - fondo)	5.55	5.55	5.55	5.55
Nivel estático(m)	1.20	1.20	1.20	1.20
Nivel dinámico (m)	4.50	4.50	4.50	4.50
Sumergencia (m)	1.09	1.09	1.09	1.09
GASTOS:				
Fecha del aforo original				
Tipo de aforo original				
Gasto original (lps)	No se probó	60	60	60
Tipo de aforo actual	Porque el	Pitometría	Pitometría	Pitometría
Gasto actual, apertura válvula 50% (lps)	Motor se	50.43	52.43	60.63
Gasto actual, apertura válvula 75% (lps)	Fue a tierra	55.75	58.40	64.05
Gasto actual, apertura válvula 100% (lps)	Con 0.7	59.70	62.78	67.74
Horario de servicio (hr)	De aislam.	24	24	24
CARGAS Y PRESIONES:				
Carga dinámica original (mca)		180	180	180
Carga dinámica real de campo		180	180	180
Presión manométrica en múltiple (mca)		175	175	175
Presión manométrica en válv. inserción (mca)		170.00	170.00	170.00
Elevación de la clave tubería del múltiple		1055.21	1055.21	1055.21
Elevación de la clave tubería (válv. inserción)		1042.95	1042.95	1042.95
Desnivel topog. Manómetro múltiple-válv. Inserción (m)		-12.26	-12.26	-12.26
Diferencia de medición de presiones entre múltiple y la válvula de inserción		17.26	17.26	17.26

Tabla a5. Ficha Técnica - bombas de la planta de bombeo 2.

Descripción	Equipo de Bombeo			
	1	2	3	4
ÁREA ELÉCTRICA: Datos Particulares				
MOTOR (Datos de placa):				
Tipo				
Marca	U.S. MEXICO	U.S. MEXICO	U.S. MEXICO	U.S. MEXICO
Serie No	C11-H624-MO1	02405822	M97M2693-2	M97M2693-1
Modelo	H624		12CC 10	12CC 10
Potencia [HP]	200	200	165	165
Factor de Servicio	1.15	1.15	1.15	1.15
Velocidad medida en campo (rpm)	1760	1760	1760	1760
Velocidad en placa (rpm)	1775	1500	1770	1770
Fases	3	3		
Frecuencia [Hz]	60	50		
Armazón	445 TP	1505 P		
Tipo	RU	HU 0227		
Diseño		B		
Clave				
Clase de aislamiento				
Voltaje	460	440		
Amp. Alto Voltaje	233	235		
BALEROS:				
Sup Carga		7226		
Infer. de guía		6219		
Capacidad de aceite:				
Balero sup.		7		
Balero inferior		3		
Eficiencia NOM – NEMA	93.60			
SUBESTACIÓN				
Tipo				
Transformador:				
Capacidad [KVA]	225	225	225	225
Marca	EMSA	EMSA	EMSA	CEB
Serie No.	7687	7685	7690	1551097
Tensión primaria [V]	13200	13200	13200	13200
Arrancador:				
Marca				Siemens
Tipo				K981
Capacidad [V]				440
Potencia [Hp]				200
Ajuste				200-320A
Frecuencia [Hz]				60
Control				
Serie No.				
Norma				

Tabla a6. Ficha Técnica - Motores de la planta de bombeo 2.

Planta de Bombeo 3

Descripción	Equipo de Bombeo			
	1	2	3	4
DATOS GENERALES				
CONSTRUCCIÓN:				
Inicio de operación	1975			
LÍNEA DE CONDUCCIÓN:				
Tipo de material	Acero			
Diámetro interior original (mm)	394			
Diámetro interior real (mm)	375			
Espesor de la incrustación (mm)	9.5			
Coefficiente de fricción "f" de Darcy tubería de acero	0.06096			
Longitud (m)	780.57			
Nombre del sitio de descarga	Caja de Cambio de Régimen			
Desnivel topog. Entre brocal y sitio de descarga (m)	200.66			
NIVELES:				
Elevación Del brocal (msnm)				
Elevación de la clave tubería del múltiple	1200.66			
Elevación de la clave de tubo en sitio de descarga	1401.32			
Prof. (m) del pozo ó cárcamo (losa superior - fondo)	5.45	5.45	5.45	
Nivel estático(m)	0.50	0.50	0.50	
Nivel dinámico (m)	3.80	3.80	3.80	
Sumergencia (m)	1.09	1.09	1.09	
GASTOS:				
Fecha del aforo original				
Tipo de aforo original				
Gasto original (lps)	60	60	60	
Tipo de aforo actual	Pitometría	Pitometría	Pitometría	
Gasto actual, apertura válvula 50% (lps)	49.20	52.39	40.00	
Gasto actual, apertura válvula 75% (lps)	53.22	61.30	50.51	
Gasto actual, apertura válvula 100% (lps)	63.27	69.04	55.32	
Horario de servicio (hr)	24	24	24	
CARGAS Y PRESIONES:				
Carga dinámica original (mca)	210	210	210	
Carga dinámica real de campo	214.26	214.26	214.26	
Presión manométrica en múltiple (mca)	210	210	210	
Presión manométrica en válv. Inserción (mca)	170.00	170.00	170.00	
Elevación de la clave tubería del múltiple	1200.66	1200.66	1200.66	
Elevación de la clave tubería (válv. inserción)	1230.57	1230.57	1230.57	
Desnivel topog. Manómetro múltiple - válv. Inserción (m)	29.91	29.91	29.91	
Diferencia de medición de presiones entre múltiple y la válvula de inserción	10.09	10.09	10.09	

Tabla a7. Ficha Técnica - bombas de la planta de bombeo 3.

Descripción	Equipo de Bombeo			
	1	2	3	4
ÁREA ELÉCTRICA: Datos Particulares				
MOTOR (Datos de placa):				
Tipo				
Marca	U.S. MEXICO	U.S. MEXICO	U.S. MEXICO	U.S. MEXICO
Serie No	H6254-AO7-M	H625-AO7-M	02405522	02405522
Modelo	H624		12CC 10	12CC 10
Potencia [HP]	250	250	250	250
Factor de Servicio		1.15	1.15	1.15
Velocidad medida en campo (rpm)	1760	1775	1775	1760
Velocidad en placa (rpm)	1775	1775	1500-1800	1500-1800
Fases	3	3	3	
Frecuencia [Hz]	60	60	50-60	
Armazón	445 TPA		1505P	
Tipo	RU	RU	HU0230	
Diseño	B	B	B	
Clave	G	G	G	
Clase de aislamiento	F	F		
Voltaje	460	460	440	440
Amp. Alto Voltaje	290	290	295	295
BALEROS:				
Sup. Carga	29422-EJ	29422-EJ	7226	
Infer. de guía	6215-J	6215-J	6219	
Capacidad de aceite:				
Balero sup.	4	4	7	
Balero inferior			3	
Eficiencia NOM – NEMA	95.00			
SUBESTACIÓN				
Tipo				
Transformador:				
Capacidad [KVA]	300	300	300	225
Marca	CEB	CEB	EMSA	EMSA
Serie No.	1251097	4004-7920	7494	7692
Tensión primaria [V]	13200	13200	13200	13200
Arrancador:				
Marca	Siemens	Siemens		
Tipo	K981	K981		
Capacidad [V]	440	440		
Potencia [Hp]	200	250		
Ajuste	250-400A	250-400A		
Frecuencia [Hz]	60	60		
Control	440V	440V		
Serie No.	E97113-2-21	E97113-2-21		
Norma	J-328-1978	J-328-1978		

Tabla a8. Ficha Técnica - Motores de la planta de bombeo 3.

Resultados de parámetros de equipos electromecánicos

Planta Captación

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR			
Planta de bombeo:	Captación	Revoluciones:	1740
Fecha:	15/01/04	No. Serie:	C11-H624-M02
Motor eléctrico No.	1	Marca:	U.S.
Resistencia aislamiento de bobinas[Ω]:			
Fase 1= 650	Fase 2= 600		
Fase 3= 650			
Amperaje con carga[A]:		Amperaje en vacío [A]:	
Fase 1= 262	Fase 2= 262	Fase 1= 51	Fase 2= 50
V1= 410	V2= 410	V1= 420	V2= 420
Fase 3= 263		Fase 3= 48	
V3= 410		V3= 410	
Factor de servicio:	1,15	Estado del aceite actual:	Bueno
Rodamientos del motor:		Nivel de aceite:	Normal
Superior:	29422-EJ Modelo: EJ	Nivelación del motor:	Buena
Inferior:	2615-J Modelo: J		
Verticalidad de la flecha superior:		Buena	
Estado del dispositivo de no retroceso:		Bueno	
Tuerca de ajuste:	Medida [in]: 2 5/8"	Estado:	Bueno
Cuñero:	Medida [in]: 3/8"	Estado:	Bueno
Cuña:	Medida [in]: 3/8" L	Estado:	Bueno
Opresor (in):	¼"		

Tabla b1. Parámetros de campo del equipo motor 1.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Planta de bombeo:	Captación				
Bomba No.	1	Modelo:	12M 7000	Marca:	F.M.
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	1.47	No. Etapas (p):	8
Diámetro impulsor [in]:	9.06	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	1.09	Nivel dinámico [m]:	3.5		
Profundidad Cárcamo [m]:	5.40	Velocidad op. [rpm]:	1760		
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:			9/16		
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:			1 11/16	y mango de 1 7/8	
Estado del estopero:	Bueno	Tipo de colador:	Canasta		
Observaciones:					
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Con fugas	Cambio de junta:	Si
Cambio de tornillería:	Si	Otros:			
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8 y 6	Estado:	Con fugas	Cambio de empaque:	Si
Cambio de tornillería	Si	Otros:			
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:	6				
Cambio de tornillería:	Si	Estado:	Con fugas	Cambio de junta:	Si
Junta dresser		Otros:			
Diámetro [in]:	8				
Cambio de tornillería:	No	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Tren de descarga:	Bueno	Otros:	No		

Tabla b.2. Parámetros de campo de la bomba 1.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR					
Planta de bombeo:	Captación	Revoluciones:	1760		
Fecha:	15/01/04	No. Serie:	H324-A12-M		
Motor eléctrico No.	2 (200 HP)	Marca:	U.S.		
Resistencia aislamiento de bobinas[Ω]:					
Fase 1=	650	Fase 2=	700		
Fase 3=	700				
Amperaje con carga [A]:		Amperaje en vacío[A]:			
Fase 1=	213	Fase 2=	217	Fase 1=	49
V1=	440	V2=	440	V1=	440
Fase 3=	201			Fase 3=	52
V3=	440			V3=	440
Factor de servicio:	1.15	Estado del aceite actual:	Bueno		
Rodamientos del motor:		Nivel de aceite:	Normal		
Superior:	29422-EJ	Modelo:	EJ	Nivelación del motor:	Buena
Inferior:	6215-J	Modelo:	J		
Verticalidad de la flecha superior:			Buena	Opresor (in):	¼"
Estado del dispositivo de no retroceso:			Bueno		
Tuerca de ajuste:	Medida [in]:	2 5/8"	Estado:	Bueno	
Cuñero:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	
Cuña:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	

Tabla b3. Parámetros de campo del equipo motor 2.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Planta de bombeo:	Captación				
Bomba No.	2	Modelo:	12CC	Marca:	N.J.
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	1.47	No. Etapas (p):	10
Diámetro impulsor [in]:	9	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	1.09	Nivel dinámico [m]:	3.5		
Profundidad Cárcamo [m]:	5.40	Velocidad op. [rpm]:	1760		
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:		5/8			
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:		1 11/16			
Estado del estopero:	Bueno	Tipo de colador:	Canasta		
Observaciones:					
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Cambio de tornillería:	No	Otros:	No		
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Bueno	Cambio de empaque:	No
Cambio de tornillería	No				
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:					
Cambio de tornillería:		Estado:		Cambio de junta:	
Junta dresser		Otros:			
Diámetro [in]:	8				
Cambio de tornillería:	No	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Tren de descarga:	Bueno	Otros:	No		
Observaciones:	Los parámetros de la válvula de presión es la misma de la bomba 1.				

Tabla b4. Parámetros de campo de la bomba 2.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR					
Planta de bombeo:	Captación	Revoluciones:	1760		
Fecha:	15/01/04	No. Serie:	24826130		
Motor eléctrico No.	3	Marca:	U.S.		
Resistencia aislamiento de bobinas[Ω]:					
Fase 1=	570	Fase 2=	550		
Fase 3=	580				
Amperaje con carga [A]:			Amperaje en vacío [A]:		
Fase 1=	209	Fase 2=	223	Fase 1=	43
V1=	438	V2=	438	V1=	410
Fase 3=	207	Fase 3=	41	Fase 2=	45
V3=	430	V3=	410	V2=	405
Factor de servicio:	1.15	Estado del aceite actual:	Malo		
Rodamientos del motor:		Nivel de aceite:	Normal		
Superior:	29322-5	Modelo:	N.J	Nivelación del motor:	Buena
Inferior:	6215-5	Modelo:	J.		
Verticalidad de la flecha superior:		Buena	Opresor (in):	¼"	
Estado del dispositivo de no retroceso:		Bueno			
Tuerca de ajuste:	Medida [in]:	2 5/8"	Estado:	Bueno	
Cuñero:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	
Cuña:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	

Tabla b5. Parámetros de campo del equipo motor 3.

ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Planta de bombeo:	Captación				
Bomba No.	3	Modelo:	EM302A	Marca:	ITSA
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	1.47	No. Etapas (p):	10
Diámetro impulsor [in]:	8	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	1.09	Nivel dinámico [m]:	3.5		
Profundidad Cárcamo [m]:	5.40	Velocidad op. [rpm]:	1760		
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:			5/8		
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:			1 11/16		
Estado del estopero:	Bueno	Tipo de colador:	Canasta		
Observaciones:					
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Cambio de tornillería:	No	Otros:	No		
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Con fuga	Cambio de empaque:	Si
Cambio de tornillería	Si				
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:					
Cambio de tornillería:		Estado:		Cambio de junta:	
Junta dresser		Otros:			
Diámetro [in]:	8				
Cambio de tornillería:	No	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Tren de descarga:	Bueno	Otros:	No		
Observaciones:	La descripción de la válvula de alivio de presión de hace en la bomba 1.				

Tabla b6. Parámetros de campo de la bomba 3.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR					
Planta de bombeo:	Captación	Revoluciones:	1765		
Fecha:	15/01/04	No. Serie:	6349-801132		
Motor eléctrico No.	4	Marca:	U.S.		
Resistencia aislamiento de bobinas[Ω]:					
Fase 1=	580	Fase 2=	600		
Fase 3=	600				
Amperaje con carga[A]:	Amperaje en vacío[A]:				
Fase 1=	Fase 2=	Fase 1=	46	Fase 2=	49
V1=	V2=	V1=	410	V2=	405
Fase 3=		Fase 3=	50		
V3=		V3=	410		
Factor de servicio:	1.15	Estado del aceite actual:	Bueno		
Rodamientos del motor:			Nivel de aceite:	Normal	
Superior:	7322-M	Modelo:	M	Nivelación del motor:	Buena
Inferior:	6215-J	Modelo:	J		
Verticalidad de la flecha superior:			Buena	Opresor (in):	5/16"
Estado del dispositivo de no retroceso:			Bueno		
Tuerca de ajuste:	Medida [in]:	2 5/8"	Estado:	Bueno	
Cuñero:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	
Cuña:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	

Tabla b7. Parámetros de campo del equipo motor 4.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Planta de bombeo:	Captación				
Bomba No.	4	Modelo:	12 CC	Marca:	N.J.
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	1.47	No. Etapas (p):	10
Diámetro impulsor [in]:	9	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	1.09	Nivel dinámico [m]:	3.5		
Profundidad Cárcamo [m]:	5.40	Velocidad op. [rpm]:	1760		
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:			½		
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:			1 11/16		
Estado del estopero:	Bueno	Tipo de colador:	Canasta		
Observaciones:	No se realizaron las pruebas de campo por estar fuera de servicio.				
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Cambio de tornillería:	No	Otros:			
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Con fugas	Cambio de empaque:	Si
Cambio de tornillería	Si				
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:					
Cambio de tornillería:		Estado:		Cambio de junta:	
Junta dresser					
Diámetro [in]:	8	Otros:			
Cambio de tornillería:	Si	Estado:	Malo	Cambio de junta:	Si
Tren de descarga:	Malo	Otros:			
Observaciones:	Falta carrete de descarga en el múltiple. Descripción de la válvula de alivio de presión se hace en la bomba 1.				

Tabla b8. Parámetros de campo de la bomba 4.

Planta de bombeo 1

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR					
Planta de bombeo:	1	Revoluciones:	1760		
Fecha:	15/01/04	No. serie:			
Motor eléctrico No.	1	Marca:			
Resistencia aislamiento de bobinas[Ω]:					
Fase 1= 1000	Fase 2= 1000				
Fase 3= 1000					
Amperaje con carga[A]:	Amperaje en vacío[A]:				
Fase 1= 163	Fase 2= 158	Fase 1= 60	Fase 2= 52		
V1= 430	V2= 430	V1= 430	V2= 430		
Fase 3= 152	Fase 3= 61				
V3= 420	V3= 420				
Factor de servicio: 1.15	Estado del aceite actual: Malo				
Rodamientos del motor:	Nivel de aceite: Normal				
Superior: 29322-E	Modelo: E	Nivelación del motor: Buena			
Inferior: 6215-3	Modelo: J				
Verticalidad de la flecha superior:	Buena	Opresor (in): 3/8"			
Estado del dispositivo de no retroceso:	Bueno				
Tuerca de ajuste:	Medida [in]: 2 3/8"	Estado:	Bueno		
Cuñero:	Medida [in]: 3/8"	Estado:	Bueno		
Cuña:	Medida [in]: 3/8"	Estado:	Bueno		

Tabla b9. Parámetros de campo del equipo motor 1.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Bomba No.	1	Modelo:	EM302A	Marca:	ITSA
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	2.7	No. Etapas (p):	10
Diámetro impulsor [in]:	8	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	1.75	Nivel dinámico [m]:	3.8	Nivel estático (m):	1.2
Profundidad Cárcamo [m]:	5.55	Velocidad op. [rpm]:	1760		
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:			0.5		
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:			1 11/16 mango: 1 7/8		
Estado del estopero:	Falta empaçar	Tipo de colador:	Canasta		
Observaciones:	Existen fugas en válvulas y estopero.				
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de junta:	Si
Cambio de tornillería:	Si	Otros:			
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de empaque:	Si
Cambio de tornillería	Si				
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:	6				
Cambio de tornillería:	Si	Estado:	Malo	Cambio de junta:	Si
Junta dresser		Otros:			
Diámetro [in]:	8				
Cambio de tornillería:	No	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Tren de descarga:	Tiene fugas	Otros:	No		
Observaciones:	El estopero tiene fugas en la unión del múltiple con la reducción.				

Tabla b10. Parámetros de campo de la bomba 1.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR					
Planta de bombeo:	1	Revoluciones:		1760	
Fecha:	15/01/04	No. Serie:		C11-H-624-MO1	
Motor eléctrico No.	2	Marca:		U.S.	
Resistencia aislamiento de bobinas[Ω]:					
Fase 1=	1000	Fase 2=	1000		
Fase 3=	1000				
Amperaje con carga[A]:	Amperaje en vacío[A]:				
Fase 1=	253	Fase 2=	242	Fase 1=	50
V1=	435	V2=	430	V1=	430
Fase 3=	251			Fase 3=	50
V3=	440			V3=	438
Factor de servicio:	1.15	Estado del aceite actual:	Emulsionado		
Rodamientos del motor:		Nivel de aceite:	Normal		
Superior:	29422-f5	Modelo:	EJ	Nivelación del motor:	Buena
Inferior:	6215-5	Modelo:	J		
Verticalidad de la flecha superior:		Buena	Bueno	Opresor (in):	3/8"
Estado del dispositivo de no retroceso:	Bueno				
Tuerca de ajuste:	Medida [in]:	2 5/8"	Estado:	Bueno	
Cuñero:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	
Cuña:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	

Tabla b11. Parámetros de campo del equipo motor 2.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Planta de bombeo:	1				
Bomba No.	2	Modelo:	12 M7000	Marca:	FM
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	2.7	No. Etapas (p):	8 (1)
Diámetro impulsor [in]:	9.06	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	1.75	Nivel dinámico [m]:	3.8	Nivel estático (m):	1.2
Profundidad Cárcamo [m]:	5.55	Velocidad op. [rpm]:			
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:	2 Vueltas 7 ¼ total 10 hilos				
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:	1 11/16 X 1 7/8				
Estado del estopero:	Bueno	Tipo de colador:	No existe		
Observaciones:	El estopero y las válvulas tienen fugas.				
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de junta:	Si
Cambio de tornillería:	Si	Otros:			
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de empaque:	Si
Cambio de tornillería	Si				
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:					
Cambio de tornillería:		Estado:		Cambio de junta:	
Junta dresser		Otros:			
Diámetro [in]:	8				
Cambio de tornillería:	No	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Tren de descarga:	Regular	Otros:	No		
Observaciones:	La descripción de la válvula de alivio de presión se hace en la bomba 1.				

Tabla b12. Parámetros de campo de la bomba 2.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR					
Planta de bombeo:	1	Revoluciones:	1760		
Fecha:	15/01/04	No. Serie:	349-BO1A325RO7		
Motor eléctrico No.	3	Marca:	U.S.		
Resistencia aislamiento de bobinas[Ω]:					
Fase 1=	1050	Fase 2=	1200		
Fase 3=	1200				
Amperaje con carga[A]:			Amperaje en vacío[A]:		
Fase 1=	232	Fase 2=	230	Fase 1=	49
V1=	425	V2=	420	V1=	425
Fase 3=	231			Fase 3=	51
V3=	420			V3=	420
Factor de servicio:	1.15	Estado del aceite actual:	Bueno		
Rodamientos del motor:			Nivel de aceite:	Normal	
Superior:	7322-N	Modelo:	N	Nivelación del motor:	Buena
Inferior:	6215-5	Modelo:	J		
Verticalidad de la flecha superior:			Buena	Opresor (in):	3/8"
Estado del dispositivo de no retroceso:	Bueno				
Tuerca de ajuste:	Medida [in]:	2 7/8"	Estado:	Bueno	
Cuñero:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	
Cuña:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	

Tabla b13. Parámetros de campo del equipo motor 3.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Planta de bombeo:	1				
Bomba No.	3	Modelo:	EM 302A	Marca:	ITSA
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	2.7	No. Etapas (p):	10
Diámetro impulsor [in]:	8	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	1.75	Nivel estático (m):	1.2	Nivel dinámico [m]:	3.8
Profundidad Cárcamo [m]:	5.55	Velocidad op. [rpm]:	1760		
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:	0.4				
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:	1 11/16 X 1 7/8				
Estado del estopero:	Bueno	Tipo de colador:	No existe		
Observaciones:	Tiene fugas en válvulas.				
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de junta:	Si
Cambio de tornillería:	Si	Otros:			
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de empaque:	Si
Cambio de tornillería:	Si				
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:					
Cambio de tornillería:		Estado:		Cambio de junta:	
Junta dresser					
Diámetro [in]:	8				
Cambio de tornillería:	Si	Estado:	Malo	Cambio de junta:	Si
Tren de descarga:	Regular	Otros:			
Observaciones:	La descripción de la válvula de alivio de presión se hace en la bomba 1.				

Tabla b14. Parámetros de campo de la bomba 3.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR					
Planta de bombeo:	1	Revoluciones:	1760		
Fecha:	15/01/04	No. Serie:	H624-A12		
Motor eléctrico No.	4	Marca:	U.S.		
Resistencia aislamiento de bobinas[Ω]:					
Fase 1=	1200	Fase 2=	1200		
Fase 3=	1200				
Amperaje con carga[A]:	Amperaje en vacío[A]:				
Fase 1=	163	Fase 2=	158	Fase 1=	52
V1=	425	V2=	425	V1=	440
Fase 3=	152	Fase 3= 54			
V3=	430	V3= 440			
Factor de servicio:	1.15	Estado del aceite actual:	Bueno		
Rodamientos del motor:	Nivel de aceite: Normal				
Superior:	29422	Modelo:	EJ	Nivelación del motor:	Buena
Inferior:	6215-5	Modelo:	J		
Verticalidad de la flecha superior:	Buena			Opresor (in):	¼"
Estado del dispositivo de no retroceso:	Bueno				
Tuerca de ajuste:	Medida [in]:	2 5/8"	Estado:	Bueno	
Cuñero:	Medida [in]:	½"	Estado:	Bueno	
Cuña:	Medida [in]:	½"	Estado:	Bueno	

Tabla b15. Parámetros de campo del equipo motor 4.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Planta de bombeo:	1				
Bomba No.	4	Modelo:	12 CC	Marca:	N.J.
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	2.7	No. Etapas (p):	10
Diámetro impulsor [in]:	9	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	1.75	Nivel estático (m):	1.2	Nivel dinámico [m]:	3.8
Profundidad Cárcamo [m]:	5.55	Velocidad op. [rpm]:	1760		
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:		0.5			
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:		1 11/16			
Estado del estopero:	Bueno	Tipo de colador:	No tiene		
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de junta:	Si
Cambio de tornillería:		Si Otros:			
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Regular	Cambio de empaque:	No
Cambio de tornillería:		No			
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:					
Cambio de tornillería:		Estado:		Cambio de junta:	
Junta dresser		Otros:			
Diámetro [in]:	8				
Cambio de tornillería:		Si Estado:		Malo Cambio de junta:	
Tren de descarga:		Bueno Otros:			
Observaciones:	La descripción de la válvula de alivio de presión se hace en la bomba 1				

Tabla b16. Parámetros de campo de la bomba 4.

Planta de bombeo 2

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR					
Planta de bombeo:	2		Revoluciones:	1760	
Fecha:	15/01/04		No. Serie:	C11-H624-MO1	
Motor eléctrico No.	1(200 HP)		Marca:	U.S.	
Resistencia aislamiento de bobinas[Ω]:					
Fase 1=	1000	Fase 2=	1000		
Fase 3= 1100					
Amperaje con carga[A]:			Amperaje en vacío[A]:		
Fase 1=	Fase 2= 51		Fase 1= 56	Fase 2= 51	
V1=	V2=		V1= 440	V2= 440	
Fase 3=	51		Fase 3= 51		
V3=			V3= 440		
Factor de servicio:	1.15		Estado del aceite actual:	Bueno	
Rodamientos del motor:			Nivel de aceite: Normal		
Superior:	29422	Modelo:	EJ		Nivelación del motor: Buena
Inferior:	6215	Modelo:	J		
Verticalidad de la flecha superior:				Buena Opresor (in): 5/16"	
Estado del dispositivo de no retroceso: Bueno					
Tuerca de ajuste:	Medida [in]:	2 5/8"		Estado:	Bueno
Cuñero:	Medida [in]:	3/8"		Estado:	Bueno
Cuña:	Medida [in]:	3/8"		Estado:	Bueno

Tabla b17. Parámetros de campo del equipo motor 1.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Planta de bombeo:	2				
Bomba No.	1	Modelo:	12M/7000	Marca:	FM
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	1.3	No. Etapas (p):	8 *
Diámetro impulsor [in]:	9.06	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	5	Nivel estático (m):	1.2	Nivel dinámico [m]:	4.5
Profundidad Cárcamo [m]:	5.55	Velocidad op. [rpm]:	1760		
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:			0.5		
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:			1 11/16 y mango 1 7/8		
Estado del estopero:	Bueno	Tipo de colador:	No existe		
Observaciones:	* En especificaciones se encontraron 7 pasos, y en cálculos 8 pasos.				
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de junta:	Si
Cambio de tornillería:	Si	Otros:			
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de empaque:	Si
Cambio de tornillería:	Si				
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:	6				
Cambio de tornillería:	Si	Estado:	Malo	Cambio de junta:	Si
Junta dresser					
Diámetro [in]:	8				
Cambio de tornillería:	No	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Tren de descarga:					
Observaciones:	La descripción de la válvula de alivio de presión se hace en la bomba 1.				

Tabla b18. Parámetros de campo de la bomba 1.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR					
Planta de bombeo:	2	Revoluciones:	1760		
Fecha:	15/01/04	No. Serie:	HUO227		
Motor eléctrico No.	2	Marca:	U.S.		
Resistencia aislamiento de bobinas:					
Fase 1=	1000	Fase 2=	1000		
Fase 3=	1100				
Amperaje con carga:			Amperaje en vacío:		
Fase 1=	187	Fase 2=	186	Fase 1=	46
V1=	V2=		V1=		
Fase 3=	191	V3=		Fase 3=	48
Factor de servicio:	1.15		Estado del aceite actual:	Bueno	
Rodamientos del motor:			Nivel de aceite:	Normal	
Superior:	7226	Modelo:	N	Nivelación del motor:	Buena
Inferior:	6219	Modelo:	J		
Verticalidad de la flecha superior:	Buena		Opresor (in):	3/8"	
Estado del dispositivo de no retroceso:	Bueno				
Tuerca de ajuste:	Medida [in]:	1 5/8"	Estado:	Bueno	
Cuñero:	Medida [in]:	1/2"	Estado:	Bueno	
Cuña:	Medida [in]:	1/2"	Estado:	Bueno	

Tabla b19. Parámetros de campo del equipo motor 2.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Planta de bombeo:	2				
Bomba No.	2	Modelo:	EM302A	Marca:	ITSA
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	1.3	No. Etapas (p):	10
Diámetro impulsor [in]:	8	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	5	Nivel estático (m):	1.3	Nivel dinámico (m):	4.5
Profundidad Cárcamo [m]:	5.55	Velocidad op. [rpm]:	1760		
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:			0.5		
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:		1 11/16	Con manguito de 1 7/8		
Estado del estopero:	Bueno	Tipo de colador:	No existe		
Observaciones:					
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de junta:	Si
Cambio de tornillería:	Si	Otros:			
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de empaque:	Si
Cambio de tornillería:	Si				
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:					
Cambio de tornillería:		Estado:		Cambio de junta:	
Junta dresser		Otros:			
Diámetro [in]:	8				
Cambio de tornillería:	No	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Tren de descarga:	Bueno	Otros:	No		
Observaciones:	La descripción de la válvula de alivio de presión se hace en la bomba 1.				

Tabla b20. Parámetros de campo de la bomba 2.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR					
Planta de bombeo:	2	Revoluciones:	1760		
Fecha:	15/01/04	No. Serie:	H624 - A12-M		
Motor eléctrico No.	3 (200 HP)	Marca:	U.S.		
Resistencia aislamiento de bobinas:					
Fase 1=	1000	Fase 2=	1000		
Fase 3=	1100				
Amperaje con carga:			Amperaje en vacío:		
Fase 1=	211	Fase 2=	214	Fase 1=	53
V1=		V2=		V1=	
Fase 3=	215			Fase 3=	
V3=				V3=	
Factor de servicio:	1.15	Estado del aceite actual:	Malo		
Rodamientos del motor:		Nivel de aceite:	Normal		
Superior:	29422	Modelo:	EJ	Nivelación del motor:	Buena
Inferior:	6215	Modelo:	J		
Verticalidad de la flecha superior:	Buena			Opresor (in):	3/8"
Estado del dispositivo de no retroceso:	Bueno				
Tuerca de ajuste:	Medida [in]:	2 5/8"	Estado:	Bueno	
Cuñero:	Medida [in]:	1/2"	Estado:	Bueno	
Cuña:	Medida [in]:	1/2"	Estado:	Bueno	

Tabla b21. Parámetros de campo del equipo motor 3.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Planta de bombeo:	2				
Bomba No.	3	Modelo:	12 CC	Marca:	N.J.
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	1.3	No. Etapas (p):	10
Diámetro impulsor [in]:	9	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	5	Nivel estático (m):	1.2	Nivel dinámico [m]:	4.5
Profundidad Cárcamo [m]:	5.55	Velocidad op. [rpm]:	1760		
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:			0.5		
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:			1 11/16 y 1 7/8 mango 1 7/8		
Estado del estopero:	Con fuga cte.	Tipo de colador:	No existe		
Observaciones:					
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de junta:	Si
Cambio de tornillería:	Si	Otros:			
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Bueno	Cambio de empaque:	Si
Cambio de tornillería	No				
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:					
Cambio de tornillería:		Estado:		Cambio de junta:	
Junta dresser		Otros:			
Diámetro [in]:	8				
Cambio de tornillería:	No	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Tren de descarga:	Bueno	Otros:	No		
Observaciones:	La descripción de la válvula de alivio de presión se hace en la bomba 1.				

Tabla b22. Parámetros de campo de la bomba 3.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR					
Planta de bombeo:	2		Revoluciones:	1760	
Fecha:	15/01/04		No. Serie:	H624-A12-M	
Motor eléctrico No.	4		Marca:	U.S.	
Resistencia aislamiento de bobinas:					
Fase 1=	1000	Fase 2=	1000		
Fase 3=	1100				
Amperaje con carga:			Amperaje en vacío:		
Fase 1=	196	Fase 2=	206	Fase 1=	51
V1=	440	V2=	440	V1=	208
Fase 3=	218		Fase 3=	56	
V3=	436		V3=	207	
Factor de servicio:	1.15		Estado del aceite actual:	Bueno	
Rodamientos del motor:			Nivel de aceite:	Normal	
Superior:	29422-E5	Modelo:	EJ	Nivelación del motor:	Buena
Inferior:	6215-5	Modelo:	J		
Verticalidad de la flecha superior:	Buena		Opresor (in):	5/16"	
Estado del dispositivo de no retroceso:	Bueno				
Tuerca de ajuste:	Medida [in]:	2 5/8"	Estado:	Bueno	
Cuñero:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	
Cuña:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	

Tabla b23. Parámetros de campo del equipo motor 4.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Planta de bombeo:	2				
Bomba No.	4	Modelo:	12 CC	Marca:	NJ
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	1.3	No. Etapas (p):	10
Diámetro impulsor [in]:	9	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	1.3	Nivel estático (m):	1.2	Nivel dinámico [m]:	4.5
Profundidad Cárcamo [m]:	5.55	Velocidad op. [rpm]:	1760		
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:			0.5		
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:			1 11/16 y Mango de 1 7/8		
Estado del estopero:	Bueno	Tipo de colador:	No existe		
Observaciones:					
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de junta:	Si
Cambio de tornillería:	Si	Otros:			
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Bueno	Cambio de empaque:	No
Cambio de tornillería:	No				
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:					
Cambio de tornillería:		Estado:		Cambio de junta:	
Junta dresser					
Diámetro [in]:	8	Otros:			
Cambio de tornillería:	Si	Estado:	Malo	Cambio de junta:	Si
Tren de descarga:					
		Otros:	No		
Observaciones:	La descripción de la válvula de alivio de presión se hace en la bomba 1				

Tabla b24. Parámetros de campo de la bomba 4.

Planta de bombeo 3

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR					
Planta de bombeo:	3		Revoluciones:	1760	
Fecha:	15/01/04		No. Serie:	H625-A07-M	
Motor eléctrico No.	1(250 HP)		Marca:	U.S.	
Resistencia aislamiento de bobinas:					
Fase 1=	1050	Fase 2=	1100		
Fase 3=	1100				
Amperaje con carga:	Amperaje en vacío:				
Fase 1=	303	Fase 2=	310	Fase 1=	66
V1=	425	V2=	425	V1=	425
Fase 3=	308	Fase 3= 64			
V3=	425	V3= 425			
Factor de servicio:	1.15		Estado del aceite actual:	Malo	
Rodamientos del motor:	Nivel de aceite: Normal				
Superior:	(2)9422	Modelo:	EJ	Nivelación del motor:	Buena
Inferior:	6915	Modelo:	J		
Verticalidad de la flecha superior:	Buena			Opresor (in):	¼"
Estado del dispositivo de no retroceso:	Normal				
Tuerca de ajuste:	Medida [in]:	2 5/8"		Estado:	Bueno
Cuñero:	Medida [in]:	3/8"		Estado:	Bueno
Cuña:	Medida [in]:	3/8"		Estado:	Bueno

Tabla b25. Parámetros de campo del equipo motor 1.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Planta de bombeo:	3				
Bomba No.	1	Modelo:	12GCH	Marca:	NJ
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	1.45	No. Etapas (p):	10
Diámetro impulsor [in]:	9.37	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	5	Nivel estático (m):	0.5	Nivel dinámico [m]:	3.8
Profundidad Cárcamo [m]:	5.45	Velocidad op. [rpm]:	1760		
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:			0.55		
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:			1 11/16" Y mango 1 7/8		
Estado del estopero:	Bueno	Tipo de colador:	Canasta		
Observaciones:					
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de junta:	Si
Cambio de tornillería:	Si	Otros:			
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de empaque:	Si
Cambio de tomillería	Si				
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:	6				
Cambio de tornillería:	Si	Estado:	Malo	Cambio de junta:	Si
Junta dresser					
Diámetro [in]:	8				
Cambio de tornillería:	No	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Tren de descarga:	Fuga	Otros:	No		
Observaciones:	Existe fuga en la unión de múltiple con la reducción en el tren de descarga.				

Tabla b26. Parámetros de campo de la bomba 1.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR					
Planta de bombeo:	3		Revoluciones:	1775	
Fecha:	15/01/04		No. Serie:	H625-AO7-M	
Motor eléctrico No.	2 (250 HP)		Marca:	U.S.	
Resistencia aislamiento de bobinas:					
Fase 1=	1000	Fase 2=	1200		
Fase 3=	1400				
Amperaje con carga:			Amperaje en vacío:		
Fase 1=	312	Fase 2=	307	Fase 1=	64
V1=	430	V2=	430	V1=	430
Fase 3=	309			Fase 3=	69
V3=	435			V3=	435
Factor de servicio:	1.15		Estado del aceite actual:	Bueno	
Rodamientos del motor:			Nivel de aceite:	Normal	
Superior:	(2) 9422	Modelo:	EJ	Nivelación del motor:	Buena
Inferior:	6215	Modelo:	J		
Verticalidad de la flecha superior:	Buena		Opresor (in): ¼"		
Estado del dispositivo de no retroceso:	Bueno				
Tuerca de ajuste:	Medida [in]:	2 3/4"	Estado:	Bueno	
Cuñero:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	
Cuña:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	

Tabla b27. Parámetros de campo del equipo motor 2.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Planta de bombeo:	3				
Bomba No.	2	Modelo:	12GHC	Marca:	NJ
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	1.45	No. Etapas (p):	10
Diámetro impulsor [in]:	9.37	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	5	Nivel estático (m):	0.5	Nivel dinámico [m]:	3.8
Profundidad Cárcamo [m]:	5.45	Velocidad op. [rpm]:	1760		
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:	0.6				
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:	1 11/16				
Estado del estopero:	Bueno	Tipo de colador:	Canasta		
Observaciones:					
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Cambio de tornillería:	No	Otros:	No		
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de empaque:	Si
Cambio de tornillería	Si				
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:					
Cambio de tornillería:			Estado:	Cambio de junta:	
Junta dresser			Otros:		
Diámetro [in]:	8				
Cambio de tornillería:	No	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Tren de descarga:			Otros:	No	
Observaciones:	La descripción de la válvula de alivio de presión se hace en la bomba 1.				

Tabla b28. Parámetros de campo de la bomba 2.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR					
Planta de bombeo:	3	Revoluciones:	1775		
Fecha:	15/01/04	No. Serie:	CO9-M625-MO1		
Motor eléctrico No.	3 (250 HP)	Marca:	U.S.		
Resistencia aislamiento de bobinas:					
Fase 1=	500	Fase 2=	500		
Fase 3=	500				
Amperaje con carga:	Amperaje en vacío:				
Fase 1=	303	Fase 2=	310	Fase 1=	68
V1=	430	V2=	430	V1=	430
Fase 3=	308			Fase 3=	70
V3=	430			V3=	430
Factor de servicio:	1.15	Estado del aceite actual:	Malo		
Rodamientos del motor:			Nivel de aceite:	Normal	
Superior:	(2) 9422	Modelo:	EJ	Nivelación del motor:	Buena
Inferior:	6215	Modelo:	J		
Verticalidad de la flecha superior:	Buena			Opresor (in):	¼"
Estado del dispositivo de no retroceso:	Bueno				
Tuerca de ajuste:	Medida [in]:	2 2/3"	Estado:	Bueno	
Cuñero:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	
Cuña:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	

Tabla b29. Parámetros de campo del equipo motor 3.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Planta de bombeo:	3				
Bomba No.	3	Modelo:	12M7000	Marca:	FM
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	1.45	No. Etapas (p):	8
Diámetro impulsor [in]:	9.09	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	5	Nivel estático (m):	0.5	Nivel dinámico [m]:	3.8
Profundidad Cárcamo [m]:	5.45	Velocidad op. [rpm]:	1760		
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:			0.7		
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:			1 7/8		
Estado del estopero:	Bueno	Tipo de colador:	Canasta		
Observaciones:					
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Cambio de tornillería:	No	Otros:			
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Malo	Cambio de empaque:	Sí
Cambio de tornillería:	No				
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:					
Cambio de tornillería:			Estado:	Cambio de junta:	
Junta dresser			Otros:		
Diámetro [in]:	8				
Cambio de tornillería:	No	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Tren de descarga:	Bueno	Otros:	No		
Observaciones:	La descripción de la válvula de alivio de presión se hace en la bomba 1.				

Tabla b30. Parámetros de campo de la bomba 3.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DEL MOTOR					
Planta de bombeo:	3	Revoluciones:	1760		
Fecha:	15/01/04	No. Serie:	2405522		
Motor eléctrico No.	4 (250 HP)	Marca:	U.S.		
Resistencia aislamiento de bobinas:					
Fase 1=	1500	Fase 2=	1500		
Fase 3=	1500				
Amperaje con carga:			Amperaje en vacío:		
Fase 1=	Fase 2=	Fase 1=	Fase 2=		
V1=	V2=	V1=	V2=		
Fase 3=			Fase 3=		
V3=			V3=		
Factor de servicio:	1.15	Estado del aceite actual:	Bueno		
Rodamientos del motor:			Nivel de aceite:	Normal	
Superior:	7296	Modelo:	EJ	Nivelación del motor:	Buena
Inferior:	6219	Modelo:	J		
Verticalidad de la flecha superior:	Buena			Opresor (in):	5/16"
Estado del dispositivo de no retroceso:	Bueno				
Tuerca de ajuste:	Medida:	No existe	Estado:	***	
Cuñero:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	
Cuña:	Medida [in]:	3/8"	Estado:	Bueno	

Tabla b31. Parámetros de campo del equipo motor 4.

VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA BOMBA					
Planta de bombeo:	3				
Bomba No.	4	Modelo:	EM302A	Marca:	ITSA
Diámetro columna [in]:	8	Long. Columna [m]:	1.45	No. Etapas (p):	11
Diámetro impulsor [in]:	8	Impulsor tipo:	Cerrado	Lubricación:	Agua
Sumergencia [m]:	5	Nivel estático (m):	0.5	Nivel dinámico [m]:	3.8
Profundidad Cárcamo [m]:	5.45	Velocidad op. [rpm]:	1760		
Carrera de graduación del equipo de bombeo [in]:			0.5		
Diámetro de la flecha de transmisión [in]:			1 11/16		
Estado del estopero:	Bueno	Tipo de colador:	Canasta		
Observaciones:	Equipo fuera de servicio.				
Piezas especiales:					
Válvula Check:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Cambio de tornillería:	No	Otros:			
Válvula de compuerta:					
Diámetro [in]:	8	Estado:	Con fuga	Cambio de empaque:	Si
Cambio de tornillería:	Si				
Válvula alivio presión					
Diámetro [in]:					
Cambio de tornillería:		Estado:		Cambio de junta:	
Junta dresser		Otros:			
Diámetro [in]:	8				
Cambio de tornillería:	No	Estado:	Bueno	Cambio de junta:	No
Tren de descarga:	Bueno	Otros:	No		
Observaciones:	La descripción de la válvula de alivio de presión se hace en la bomba 1.				

Tabla b32. Parámetros de campo de la bomba 4.