UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

"ESTUDIO COMPARATIVO DE AHORRO ENERGETICO EN MOTORES ELECTRICOS DE 440V APLICADO A UNA PLANTA DE PROCESOS DE UNA REFINERIA DE PETROLEO"

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE: INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

JOHNNY FREED PACHECO SALAZAR

PROMOCIÓN 2012-II

LIMA-PERU

2014

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres quienes confiaron en mí, a los que colaboraron en la realización de la presente tesis y a todas las personas que me apoyaron para seguir adelante y poder desarrollarme en mi vida profesional.

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO I
INDICE DE TABLAS VI
INDICE DE FIGURAS VIII
PROLOGO 1

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes 5
1.2 Motivación 9
1.3 Objetivos 9
1.3.1 Objetivo general 10
1.3.2 Objetivos especificos 10
1.4 Justificación 10
1.5 Alcance 12
1.6 Limitación 12
1.7 Metodología 13

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 Definicion de términos 15
2.2 Motores eléctricos 18
2.2.1 Clasificación de motores eléctricos 18
2.3 Motor asíncrono trifásico 21
2.3.1 Constitución del motor asíncrono 21
2.3.2 Principio de funcionamiento 25
2.4 Caracteristicas de operación de motores asíncronos 29
2.4.1 Corriente 29
2.4.2 Tensión 30
2.4.3 Factor de potencia 30

2.4.4 Potencia 30
2.4.5 Par motor 31
2.5 Pérdidas y rendimiento en motores eléctricos 32
2.5.1 Pérdidas de energía 32
2.5.2 Eficiencia 36
2.5.3 Diagrama energético del motor eléctrico 36
2.6 Eficiencia energética 37
2.6.1 Indicadores energéticos 37
2.6.2 Eficiencia energética actual 39
2.7 Auditoría energética 40
2.7.1 Tipo de auditoría energética 41
2.7.2 Análisis de la estructura energética 42
2.7.3 Análisis de la eficiencia energética 43
2.7.4 Evaluación de medidas de ahorro de energía 44
2.7.5 Informe final de auditoría 45
2.8 Introduccion a sistemas de gestión de energía 46
2.8.1 ISO 50001 48

CAPITULO III: INDUSTRIA DEL PETROLEO

3.1 Energía en la industria 55
3.1.1 Energía primaria 55
3.1.2 Energía secundaria 56
3.2 Introducción al sector del petróleo 57
3.2.1 Petróleo 58
3.3 Refinería de petróleo 59
3.4 Planta de procesos 60
3.4.1 Unidad de destilación atmosférica 61
3.4.2 Unidad de destilación de vacío 61
3.4.3 Proceso de refinación de petróleo 61
3.5 Clasificación de áreas peligrosas 64
3.5.1 Área peligrosa 64

3.5.2 Equipos a prueba de explosión (Explosion Proof) 67
3.6 Seguridad industrial 67
3.6.1 Inducción 68
3.6.2 Permisos de trabajo 68
3.6.3 Equipo de protección personal (EPP) 69

CAPITULO IV: DESCRIPCIÓN DEL ESTADO SITUACIONAL DEL SISTEMA DE FUERZA DE UNA PLANTA DE PROCESOS

4.1 Sistema de fuerza 72
4.1.1 Sistema de bombeo 72
4.1.2 Bomba centrifuga 73
4.1.3 Curva caracteristica de una bomba centrifuga 74
4.1.4 Parametros de operación de una bomba centrifuga 75
4.1.5 Balance de energía y operación de bombas 76
4.2 Subestación eléctrica 80
4.2.1 Tablero de distribución 81
4.2.2 Centro de control de motores (CCM) 81
4.3 Sistema de arranque de motores eléctricos 83
4.3.1 Arranque directo 84
4.3.2 Arranque estrella - triangulo 84
4.3.3 Arranque estatórico por resistencias 85
4.3.4 Arranque estatórico con autotransformador 86
4.3.5 Arranque rotórico con resistencias 87

CAPITULO V: EVALUACION DE PROPUESTAS EN BASE A MEJORAS

5.1 Proceso de ahorro de energía 90
5.1.1 Determinación de centros de costos de energia 90
5.1.2 Identificación de potenciales de ahorro 91
5.2 Oportunidades de mejora en equipos de plantas industriales 92
5.2.1 Buenas prácticas 92

5.2.2 Mejoras en base a inversión 94
5.3 Analisis de tarifas eléctricas 94
5.3.1 Factura de energía eléctrica 94
5.3.2 Tarifas eléctricas 94
5.3.3 Análisis de arranque de motores 97
5.4 Motores de alta eficiencia (MAE) 99
5.4.1 Análisis de motores estándar vs motores (MAE) 100
5.4.2 Cálculo de eficiencia en un motor estándar 101
5.4.3 Evaluación de ahorro energético 103
5.4.4 Condiciones para evaluar el reemplazo de motores 105
5.5 Variadores de velocidad (VSD) 106
5.5.1 Analisis del ahorro energético por regulación de caudal 106
5.5.2 Condiciones para evaluar el uso de VSD 110
5.6 Compensacion reactiva 111
5.6.1 Tipos de compensación reactiva 113
5.6.2 Análisis de ahorro de energía por compensacion reactiva 115
5.6.3 Condiciones para evaluar la compensacion reactiva 116
5.7 Evaluación económica-financiera 117
5.7.1 Evaluación del beneficio económico esperado 117
5.7.2 Evaluación del costo de implementación y retorno de inversión 118
5.7.3 Análisis de sensibilidad de los indicadores económicos-financieros 120

CAPITULO VI: APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE AHORRO DE ENERGIA EN REFINERIA DE PETROLEO

6.1 Desarorrollo de la evalucion energética 122
6.1.1 Preparación 123
6.2 Visita a instalaciones 123
6.2.1 Recopilación de información básica 124
6.2.2 Equipos de medición 128
6.2.3 Mediciones de campo 129
6.3 Contabilidad energética 130

6.3.1 Análisis de consumo eléctrico 130
6.3.2 Análisis de arranque de motores 131
6.3.3 Análisis de consumo de los motores eléctricos 132
6.4 Evaluacion de propuestas de mejora 133
6.4.1 Evaluación de motores de alta eficiencia MAE 133
6.4.2 Evaluación de variadores de velocidad 138
6.4.3 Evaluación de compensacion reactiva 147

CAPITULO VII: ANALISIS DE RESULTADOS

7.1 Análisis de resultados 149
7.1.1 Ahorro energético estimado 149
7.1.2 Ahorro económico estimado 152
7.1.3 Ahorro ambiental estimado 154
7.1.4 Análisis económico - financiero 154
7.2 Análisis de resultados 155

OBSERVACIONES 156
CONCLUSIONES 157
BIBLIOGRAFIA 159
ANEXOS 161

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Lienamientos del objetivo N°4 de la Política Energética Perú 2010 - 2040 8
Tabla 1.2 Metodología de investigación utilizada 13
Tabla 1.3 Plantemiento de actividades 14
Tabla 2.1 Clasificación general de motores eléctricos 20
Tabla 2.2 Velocidades de sincronismo 28
Tabla 2.3 Distribución de perdidas en un motor trifásico de 4 polos 34
Tabla 2.4 Tipos de perdidas en funcion de la potencia de un motor tipo abierto 34
Tabla 2.5 Factores que determinan las pérdidas de un motor eléctrico 35
Tabla 2.6 Caracteristicas del equipo de SGEn 50
Tabla 2.7 Aspectos de la evaluación del desempeño 51
Tabla 2.8 Aspectos de las metas de desempeño 52
Tabla 2.9 Aspectos básicos del plan de acción 52
Tabla 2.10 Medidas para el plan de acción 53
Tabla 2.11 Evaluación del progreso 53
Tabla 2.12 Reconocimiento de logros 54
Tabla 3.1 Transformación de fuentes naturales 56
Tabla 3.2 Capacidad de producción de refinería de petróleos 60
Tabla 3.3 Descripcion de sustancias que pertenecen a grupo de sustancias peligrosas. 66
Tabla 4.1 Descripción del funcionamiento básico de una bomba 79
Tabla 4.2 Caracteristicas de los distintos métodos de arranque 89
Tabla 5.1 Tipos de centro de costo de energía en una empresa y/o industria 90
Tabla 5.2 Identificación de potenciales de ahorro en motores eléctricos 91
Tabla 5.3 Identificación de potenciales de ahorro en sistemas de bombeo 91
Tabla 5.4 Identificación de potenciales de ahorro en sistema electrico general 92
Tabla 5.5 Proyectos de ahorro en base a buenas practicas 93
Tabla 5.6 Factor de ajuste por reducción de la eficiencia por rebobinado 103
Tabla 5.7 Factor de potencia de un motor eléctrico a diferentes cargas 113
Tabla 5.8 Análisis de sensibilidad de retorno de inversión 121
Tabla 6.1 Parámetros de consumo eléctrico mensual tipico de la instalacion. 125
Tabla 6.2 Parámetros de consumo eléctrico del ultimo mes 125

Tabla 6.3 Parámetros de operación de refinación de petróleo 127
Tabla 6.4 Parámetros de motores de la planta de procesos..... 129
Tabla 6.5 Comparación de tarifas eléctricas del mes de junio..... 130
Tabla 6.6 Corrección del factor de calificación presente fuera de punta (HFP)..... 131
Tabla 6.7 Incremento de potencia por arranque de motores 131
Tabla 6.8 Consumo de los motores eléctricos mes de junio..... 132
Tabla 6.9 Datos de placa y mediciones de motor de 75 HP 133
Tabla 6.10 Cálculo de eficiencia a factor de carga 135
Tabla 6.11 Cálculo de eficiencia por factores de ajuste..... 136
Tabla 6.12 Cálculo de eficiencia ajustada de motores NEMA Premium..... 136
Tabla 6.13 Cálculo de eficiencia ajustada de motores HIGH EFFICIENCY 137
Tabla 6.14 Cálculo de eficiencia ajustada de motores PREMIUM EFFICIENCY 137
Tabla 6.15 Ahorro de potencia y energía por uso de motores MAE..... 138
Tabla 6.16 Parámetros de operación de las bombas..... 139
Tabla 6.17 Ahorro de potencia y energía por uso de variadores de velocidad (VSD) 146
Tabla 7.1 Corrección del factor de calificación..... 149
Tabla 7.2 Perdidas de energía en motores 150
Tabla 7.3 Ahorro energético estimado motores NEMA Premium 151
Tabla 7.4 Ahorro energético estimado variadores de velocidad (VSD) 151
Tabla 7.5 Ahorro económico estimado motores NEMA Premium..... 152
Tabla 7.6 Ahorro económico estimado variadores de velocidad (VSD)..... 153
Tabla 7.7 Ahorro ambiental estimado..... 154
Tabla 7.8 Resumen de ahorros por mejoras planteadas 155

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Consumo final de energía y eficiencia promedio del Perú 1998 6
Figura 1.2 Medidas necesarias para reducir al 50% las emisiones del GEI en 2050 11
Figura 2.1 Flujo de conversión de energía 18
Figura 2.2 Esquema de tipos de motores de corriente directa 19
Figura 2.3 Partes de un motor con rotor en cortocircuito..... 22
Figura 2.4 Partes de un motor eléctrico con rotor bobinado..... 25
Figura 2.5 Principio de funcionamiento de motor asíncrono trifásico 26
Figura 2.6 Posiciones del flujo magnetico resultante..... 27
Figura 2.7 Pérdidas de un motor eléctrico 32
Figura 2.8 Tipos de pérdidas de un motor eléctrico..... 33
Figura 2.9 Comportamiento de las pérdidas en función de la carga de un motor. 35
Figura 2.10 Diagrama energetico de un motor de 5 HP. 36
Figura 2.11 Esquema de proceso de eficiencia energética. 37
Figura 2.12 Avances de la implementacion de politicas energeticas – AIE 2010 40
Figura 2.13 Esquema de procedimiento de una auditoria energética. 46
Figura 2.14 Modelo de sistema de gestión de energía. 49
Figura 3.1 Consumo de energía primaria en el mundo. 56
Figura 3.2 Refinería Talara. 59
Figura 3.3 Esquema básico del proceso de refinación del petroleo. 63
Figura 3.4 Simbolos para denotar la Clase I, División 1 y División 2 areas peligrosas. 66
Figura 3.5 Motor a prueba de explosión. 67
Figura 3.6 Señales de uso obligatorio de EPP. 70
Figura 4.1 Categoria de equipos en una planta industrial. 71
Figura 4.2 Patio de bombas de una planta de procesos. 72
Figura 4.3 Esquema de bomba centrifuga horizontal. 73
Figura 4.4 Curva característica de una bomba centrifuga típica. 74
Figura 4.5 Parámetros básicos de operación de una bomba centrifuga. 77
Figura 4.6 Diagrama sankey de energía de una bomba centrifuga. 78
Figura 4.7 Descripción del funcionamiento básico de una bomba centrifuga. 79
Figura 4.8 Esquema básico de una subestación eléctrica. 80

Figura 4.9 Partes de un CCM básico. 83
Figura 4.10 Esquema de arranque directo de un motor trífasico. 84
Figura 4.11 Esquema de arranque estrella - triangulo. 85
Figura 4.12 Esquema de arranque estatórico por resistencias. 86
Figura 4.13 Esquema de arranque estatórico con autotransformador. 87
Figura 4.14 Esquema de arranque rotorico con resistencias. 88
Figura 5.1 Cargo por consumo fijo y variable de la tarifa industrial. 95
Figura 5.2 Diagrama de carga de día típico de una instalación Industrial. 96
Figura 5.3 Representación de consumo en operación. 97
Figura 5.4 Representación de consumo en el arranque. 98
Figura 5.5 Representación del incremento de demanda en el arranque. 98
Figura 5.6 Comparacion de niveles de motores eficientes según norma. 99
Figura 5.7 Comparación de motores eléctricos. 100
Figura 5.8 Variadores de velocidad altivar. 106
Figura 5.9 Regulación de la bomba por estrangulamiento 107
Figura 5.10 Regulación de la bomba por variación de velocidad 108
Figura 5.11 Comparación de tipos de regulación de una bomba centrifuga. 109
Figura 5.12 Triangulos de potencias. 112
Figura 5.13 Esquema de compensación individual. 113
Figura 5.14 Esquema de compensación grupal. 114
Figura 5.15 Esquema de compensación global. 114
Figura 5.16 Esquema de reducción del factor de potencia. 115
Figura 5.17 Análisis del valor actual neto VAN. 120
Figura 6.1 Procedimiento de evaluación energetica. 122
Figura 6.2 Descripción de un cronograma de actividades. 123
Figura 6.3 Estadística de demanda eléctrica de enero a junio. 125
Figura 6.4 Estadística de consumo eléctrica de enero a junio. 126
Figura 6.5 Esquema de operación de la planta de procesos. 126
Figura 6.6 Analizador de redes. 128
Figura 6.7 Osciloscopio. 128
Figura 6.8 Porcentajes de demanda y consumo eléctrico. 133
Figura 6.9 Curva caracteristica – bomba de 10 HP. 140

Figura 6.10 Regulación de caudal para GOL – bomba de 10 HP. 141
Figura 6.11 Regulación de caudal para GOP – bomba de 10 HP. 141
Figura 6.12 Regulación de caudal para Keroseno (DPM) – bomba de 15 HP. 142
Figura 6.13 Regulación de caudal para Gasolina – bomba de 20 HP. 142
Figura 6.14 Regulación de caudal para Diesel – bomba de 20 HP. 143
Figura 6.15 Regulación de caudal para Nafta – bomba de 25 HP. 143
Figura 6.16 Regulación de caudal para Residual A. – bomba de 25 HP. 144
Figura 6.17 Regulación de caudal para Asfalto – bomba de 25 HP. 144
Figura 6.18 Regulación de caudal para Residual V. – bomba de 40 HP. 145
Figura 6.19 Regulación de caudal para Crudo reducido – bomba de 50 HP. 145
Figura 6.20 Regulación de caudal para Crudo – bomba de 75 HP. 146

ANEXOS

ANEXO A Lineamientos de políticas de eficiencia energética (IEA) 161
ANEXO B Formato de diagnóstico energético para motores 162
ANEXO C Formato Hoja de datos (data Sheets) de motores de inducción API 547 163
ANEXO D Pliego tarifario de media tensión – Lima Sur 04 Julio del 2014 164
ANEXO E Niveles de eficiencia de motores eléctricos NEMA MG-1:2009 165
ANEXO F Tabla de eficiencias a diferentes cargas de motores estandar y MAE 170
ANEXO G Fichas técnicas de motores de alta eficiencia WEG 172
ANEXO H Variadores de velocidad modulares SINAMICS G120P SIEMENS 174
ANEXO I Variador de velocidad ACS550-01 - ABB 175
ANEXO J Banco de condensadores automaticos APC03P - ABB 177
ANEXO K Factor para el cálculo de compensación reactiva 178
ANEXO L Resumen de la clausula 4 de la Norma Internacional ISO 50001:2011 179
ANEXO M Plano isométrico del sistema de fuerza de una refineria de petroleo 191

NOMENCLATURA

E	: Energía
Pe	: Potencia eléctrica
Pm	: Potencia mecánica
P_H	: Potencia hidráulica
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt hora
fdp	: Factor de Potencia
$\emptyset$	: Angulo de factor de potencia
V	: Voltaje
I	: Corriente
n_m	: Eficiencia del motor
n_B	: Eficiencia de la bomba
R	: Resistencia
RPM	: Revoluciones por minuto
N	: Velocidad del rotor
f	: Frecuencia
GE	: Gravedad especifica del fluido
n	: Eficiencia
FC	: Factor de carga
AE	: Ahorro de energía
AP	: Ahorro de potencia
Q	: Caudal
Hs	: Altura del sistema
ton	: Tonelada
GPM	: Galón por minuto
$MBPD$	: Miles de barriles de petróleo por día
UEE	: Uso eficiente de la energía
$SGEn$	: Sistema de gestión de la energía
CCE	: Centro de costos de energía
GEI	: Gases de efecto invernadero

ACRONIMOS

AIE	Agencia Internacional de Energía
API	American Petroleum Institute
ARPEL	Asociación Regional de Empresas del Sector Petróleo, Gas y biocombustibles en Latinoamérica y el caribe
CNE	Código Nacional de Electricidad
DGE	Dirección General de Electricidad
FIM	Facultad de Ingeniería Mecánica
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	International Organization for Standardization
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
NEC	National Electrical Code
NEMA	National Electrical Manufactures Association
NFPA	National Fire Protection Association
OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
UNI	Universidad Nacional de Ingeniería

PROLOGO

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

El primer capítulo inicia con una introducción breve referente al desarrollo del tema de tesis, ahorro energético en los motores eléctricos aplicado a una planta de procesos de una refinería de petróleo, seguido por los antecedentes sobre la eficiencia energética y la motivación por la cual se eligió el tema.

Se indica el objetivo general y los objetivos específicos que se esperan lograr con el desarrollo de la presente tesis; se explica también la justificación de desarrollo de la misma, indicando los alcances y las limitaciones, haciendo mención en los temas que abarca y los puntos que no están considerados respectivamente. Finalmente se da la descripción de la metodología que se utilizó para la realización de la tesis.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

En el segundo capítulo se indican los conceptos que hacen posible el desarrollo de esta tesis, empezando con definiciones técnicas que serán necesarias para su comprensión, mencionando los principales temas que se enfocan, continua con el estudio de los motores eléctricos de una forma general con un desarrollo más profundo en los motores de inducción trifásicos como tema central de investigación, indicando sus principales características, constitución, funcionamiento, perdidas y rendimiento, también se define la eficiencia y auditoria energética seguida con una breve introducción al sistema de gestión de la energía y al ISO 50001.

CAPITULO III: INDUSTRIA DEL PETROLEO

Este capítulo da una explicación detallada sobre la industria del petróleo, para ello inicia con la descripción breve de la energía y la industria seguida con una introducción al sector del petróleo indicando las fases que lo componen y enfocándose de una manera general y breve en el proceso de refinación, que será necesario para tener un conocimiento más completo del tema, se describe y explica la planta de procesos donde será aplicada esta investigación como se verá en el capítulo VI. Luego se explica de una manera breve la clasificación de área peligrosa para instalaciones y equipos eléctricos en una planta de petróleo establecida en la norma API RP 500 y se complementa el capítulo con una sección de la seguridad industrial básica, a tener en consideración al realizar labores en una planta industrial de este tipo.

CAPITULO IV: DESCRIPCIÓN DEL ESTADO SITUACIONAL DEL SISTEMA DE FUERZA DE UNA PLANTA DE PROCESOS

El cuarto capítulo de manera breve presenta un estudio del sistema de fuerzas en una planta industrial generalizada, básicamente se centra en la explicación de los componentes y la operación de los equipos rotativos, para ello se da la descripción del funcionamiento del sistema de bombeo visto desde el punto energético, así también se hace un breve mención a la subestación eléctrica y termina con los tipos de arranque de los motores eléctricos.

CAPITULO V: ESTUDIO DE PROPUESTAS EN BASE A MEJORAS

El quinto capítulo desarrolla la explicación de los métodos, procesos y/o mecanismos, en base al uso de guías, normas y/o estándares, utilizados para la evaluación del ahorro de energía de una forma general, haciendo hincapié en los casos que son aplicados directamente e indirectamente a los motores eléctricos.

Se empieza por definir los centros de costos de energía y la identificación de los potenciales de ahorro de energía, también se explica las oportunidades de ahorro en base a las buenas prácticas y las mejoras en base a inversión, enfocadas en los motores eléctricos, finalizando con la evaluación económica - financiera.

CAPITULO VI: APLICACION DE PROCEDIMIENTOS DE AHORRO DE ENERGIA EN REFINERIA DE PETROLEO

El sexto capítulo presenta la evaluación de todos los mecanismos y procedimientos de mejora apropiados, revisados en el capítulo V, aplicado a los motores de la planta de procesos en base a información de funcionamiento de refinerías de petróleo.

Inicia con el desarrollo de la evaluación energética describiendo todos los pasos, planificación, visita a instalaciones, información básica recolectada, equipos de medición que se necesitan, seguida por la contabilidad energética donde se realizan los cálculos para la evaluación de las propuestas de mejora.

CAPITULO VII: ANALISIS DE RESULTADOS

El sétimo y último capítulo presenta el análisis de los resultados obtenidos de la evaluación de mecanismos de mejora aplicada a los motores eléctricos, visto en el capítulo VI. Se muestra el resumen de las propuestas de mejora indicando los ahorros energéticos, económicos, ambientales estimados y la inversión requerida incluido el periodo de retorno, como requisito para que se implemente un futuro programa de eficiencia energética basado en el monitoreo y control.

CAPITULO I

INTRODUCCION

Los motores eléctricos se utilizan en los sectores industriales más variados como la industria: alimentaria, química, metalúrgica, papelera, minera, petrolera, etc., por lo que se le puede considerar la maquina eléctrica más utilizada en el entorno industrial, lo que implica su importancia en la parte técnica como económica ya que alrededor del 75% del consumo total de la energía eléctrica en el sector industrial se debe principalmente al funcionamiento de los motores eléctricos[1]. En algunas empresas crea una repercusión económica por el alto consumo de energía eléctrica, por ello se debe considerar la posibilidad de mejorar la eficiencia energética de dichos equipos en las instalaciones que lo requieran, por medio uso de equipos especiales y de medidas de ahorro, estas medidas deben de ser aplicadas a consecuencia de realizar una evaluación energética como una opción para el adecuado uso de la energía.

La presente tesis estudia el tema de eficiencia energética con la intención de ser aplicado específicamente en los motores eléctricos de una planta de procesos de una refinería de petróleo. Realizando una evaluación energética del estado actual de los motores eléctricos, analizando sus principales características: tipo, cantidad, ubicación, clasificación de área, así como las condiciones habituales de servicio (potencia, consumo, horas de operación, tensión, corriente, factor de potencia, etc.).

---

[1] *ABB. Cuaderno de Aplicaciones Técnicas N°6: El Motor Asíncrono Trifásico. 2011, p. 4.*

Y en base a los resultados obtenidos de dicha evaluación se determinara la viabilidad técnica como económica de una amplia serie de oportunidades de mejora, todo ello en base a referencias de guías, normas y/o estándares.

Esperando que el desarrollo de la misma contribuya como base para implementar un plan de ahorro de eficiencia energética y sirva como una referencia a otras áreas y equipos de la refinería de petróleo así como plantas industriales afines.

1.1 Antecedentes

Según la Agencia Internacional de Energía (AIE) la eficiencia energética podría ayudar a reducir en un 72% las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), frente a la trascendencia de este tema, se hace una revisión de lo que se hizo y se viene haciendo en el mundo y en el Perú en materia de eficiencia energética.

En octubre de 1973, se originó una gran crisis energética mundial debido al alza del precio del barril del petróleo por los países del medio oriente, que obligó a los países desarrollados a pensar en la sustitución del petróleo por otras fuentes de energía, entre las alternativas se consideraron el uso de energías renovables, que ya eran viables pero sus costos eran muy elevados, otra alternativa fue el uso de centrales nucleares para producir electricidad, la alternativa que empezó a tomar importancia fue la eficiencia energética, ya que los bajos precios de los energéticos dieron lugar a malos hábitos de consumo de la energía, y que tan solo con pequeños ajustes en el uso se tendría lo mismo consumiendo menos energía.

En junio del año 2011 se aprueba la norma ISO 50001, Sistema de Gestión de la Energía, referida a la gestión energética, para promover que las empresas productivas y de servicios procuren implementar programas de eficiencia energética que coadyuven a la reducción de las

emisiones de (GEI). La ISO estima que esta norma podría impactar en el 60% de la demanda de energía mundial.

En el caso del Perú, el crecimiento económico del país a fines de 1994 ligado al incremento de la demanda eléctrica y ante la ausencia de lluvias y agua en los reservorios de las hidroeléctricas, lo que podría causar racionamientos, origino frente a esta situación, que se realizara una campaña de ahorro de energía que abarcó el período 1995 - 2001. El Ministerio de Energía y Minas (MINEM) encargó esta tarea al Centro de Conservación de la Energía (CENERGIA) y al Proyecto para Ahorro de Energía (PAE) creado en octubre de 1994, con el encargo específico de reducir la demanda en 100 MW en el Sistema Interconectado Centro Norte (SINC), el cual fue conseguido. Así mismo en el año 1998 se hizo un balance nacional de energía cuantificando la energía neta consumida, la energía útil y las pérdidas, como se muestra en la **Figura 1.1**.

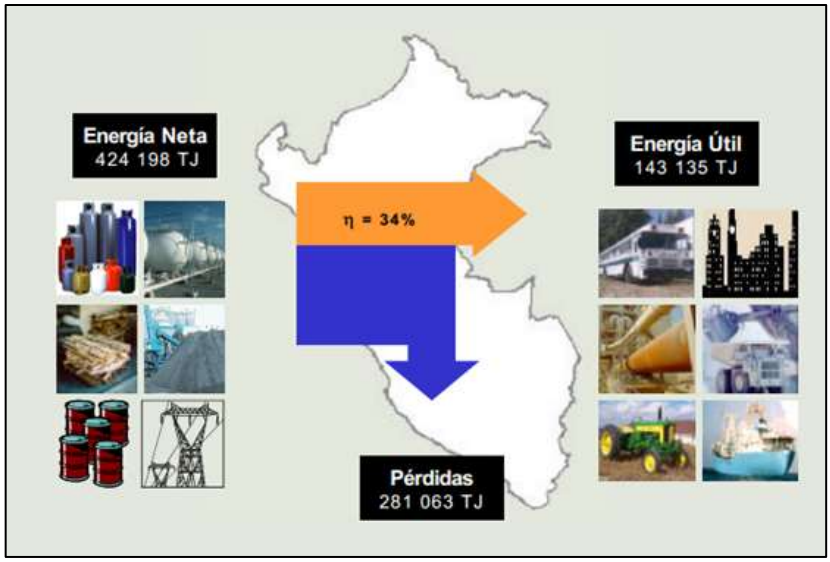


Figura 1.1 *Consumo final del energía y eficiencia promedio del Perú 1998*
(*Oficina Técnica de Energía MINEM- BNEU 1998*)

En el año 2000 se promulga la Ley N° 27345, la Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía donde se fomentaba el uso eficiente de la energía para asegurar el suministro de energía, proteger al consumidor, promover la competitividad y reducir el impacto ambiental.

El 23 de octubre del 2007 se emite el decreto Supremo N° 053-2007-EM, la presente norma tiene por objeto reglamentar las disposiciones para promover el uso eficiente de la energía en el país contenidas en la Ley Nº 27345. El uso eficiente de la energía contribuye a asegurar el suministro de energía, mejorar la competitividad del país, generar saldos exportables de energéticos, reducir el impacto ambiental, proteger al consumidor y fortalecer la toma de conciencia en la población sobre la importancia del Uso Eficiente de la Energía (UEE).

En el 2009 Se emite la Resolución Ministerial N° 469-2009-EM/DM Plan Referencial del Uso Eficiente de la Energía 2009 – 2018, se estableció como objetivo principal para este plan el ahorro del 15% de energía, que se alcanzaría con la suma de ahorros de lo que se obtendría en los 4 sectores de consumo indicado como residencial, productivo y de servicios, público y transportes, en relación a las proyecciones base de la demanda de energía y al que se llegaría progresivamente el año 2018.

El 21 de noviembre del 2010 se aprobó, a través del Decreto Supremo N° 064-2010-EM, la Política Energética Nacional del Perú 2010 - 2040. El cual indica que se debe contar con una matriz energética diversificada, con énfasis en las fuentes renovables y la eficiencia energética, el Objetivo N°4 de este decreto está referido específicamente a la eficiencia energética y menciona que se debe “contar con la mayor eficiencia en la cadena productiva y de uso de la energía”, para ello establece 7 lineamientos, que se muestran en la **Tabla 1.1**.

Tabla 1.1 *Lineamientos del Objetivo N°4 de la Política Energética Nacional Perú 2010-2040*

N°	Descripción de lineamientos
1	Formar una cultura de uso eficiente de la energía (UEE).
2	Alcanzar objetivos cuantificables de eficiencia energética como parte de la matriz energética nacional.
3	Alcanzar niveles de eficiencia energética compatibles con estándares internacionales.
4	Involucrar a las empresas del sector energético y usuarios en los programas de eficiencia energética.
5	Lograr la automatización de la oferta y manejo de la demanda mediante sistemas inteligentes.
6	Crear el centro de Eficiencia Energética encargado de promover el uso eficiente de la energía.
7	Incentivar el uso productivo de la energía.

A pesar del conocimiento en temas de eficiencia energética y las normas emitidas aún existen empresas del sector industrial que no han implementado mecanismos de ahorro de energía necesarias, puede ser porque no tienen conocimiento del uso eficiente de la energía (UEE), o probablemente no consideran su importancia debido a la percepción poco significativa del gasto energético en sus costos totales.

La cantidad de empresas en las que se pueden implementar medidas de eficiencia energética en los diferentes equipos como, bombas, ventiladores, motores, compresores, sistema de iluminación, sistema eléctrico general, etc., es bien grande y representa una buena oportunidad para lograr los objetivos antes mencionados.

En el caso particular de una refinería de petróleo, la energía utilizada se destina a diferentes tipos de equipos, sistemas y procesos, sin embargo las cargas de los motores eléctricos son los

mayores consumidores de energía, ello representa aproximadamente el 70% de la energía consumida[2].

1.2 Motivación

Es un deber de los profesionales aportar investigación para solucionar los problemas actuales de la sociedad y más aún si está relacionado con la gran problemática del uso y del consumo deficiente de energía en los tiempos actuales.

Durante los últimos años se ha venido tomando conciencia en todo el mundo acerca de la importancia del uso eficiente de los recursos energéticos, la conservación de la energía y dentro de ella el manejo eficiente de la energía eléctrica se ha destacada como la mejor forma de contribuir a optimizar los recursos y reducir las emisiones de CO_2 disminuyendo la contaminación ambiental por los gases de efecto invernadero (GEI).

La motivación para desarrollar y aplicar este tema radica, como ya se vio, en la importancia que representa el uso eficiencia de la energía (UEE) y en el poco conocimiento que se tiene de este tema en el país, hoy en día corresponde una buena alternativa que ayude a mejorar en el desempeño en el sector industrial, recordando que el uso de energía es necesario para el desarrollo y crecimiento de un país y que se verá reflejado en el incremento de la demanda de energía.

1.3 Objetivos

Los objetivos que motivaron el desarrollo de esta tesis se describen en objetivos generales y específicos descritos a continuación.

---

[2] *API RP 540. Electrical Installations in Petroleum Processing Plants. 4th Edition. 2004. Section 3.8.2, p.12.*

1.3.1 Objetivos generales

Evaluar la implementación de mejoras y mecanismos de ahorro en base a procedimientos de normas y/o estándares en el funcionamiento de motores eléctricos eficientes a fin de disminuir el consumo eléctrico, aumentar la eficiencia energética, reducir costos operativos y de mantenimiento así como optimizar recursos productivos.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Analizar técnica, económica y financieramente las alternativas más adecuadas para un ahorro de energía en motores eléctricos.
2. Evaluar la reducción del consumo eléctrico de los motores eléctricos de una refinería de petróleo aproximadamente en un 12%.
3. Proponer mejoras en la eficiencia y funcionamiento de los motores en las instalaciones de la planta de procesos.
4. Verificar y dar cumplimiento de las normas nacionales e internacionales en el uso de motores eléctricos eficientes.
5. Aplicar procedimientos en base a la normativa ISO 50001 Sistema de Gestión de la Energía (SGEn).

1.4 Justificación

El alto consumo energético, específicamente del sector industrial nacional del país, reflejada en el incremento de la demanda anual de energía y en el incremento a diario del costo de la electricidad, así como la ausencia de uso de programas de eficiencia energética (UEE) en las empresas industriales, el cual se debe a diversos factores como la falta de información acerca de la eficiencia energética, ausencia o un mal seguimiento del monitoreo y control del consumo

de energía o no existe el interés por parte de algunas empresas del sector industrial en tomar medidas de ahorro y realizar inversiones en nuevas tecnologías; ocasiona las elevadas cifras de demanda industrial, que producen pérdidas para las empresa eléctrica y el estado debido a los subsidios y regulaciones.

Las empresas industriales proveen una importante oportunidad para la conservación y ahorro de la energía, ya que las pérdidas eléctricas en la distribución y utilización de equipos de una planta de procesos de una instalación industrial pueden representar aproximadamente el 20%, la misma planta usando un sistema eficiente podría tener un 15% menos en pérdidas.

Así mismo una reducción del consumo de energía tendría beneficio al reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), en los próximos años como indica la Agencia Internacional de Energía (AIE), como se muestra en la **Figura 1.2**.

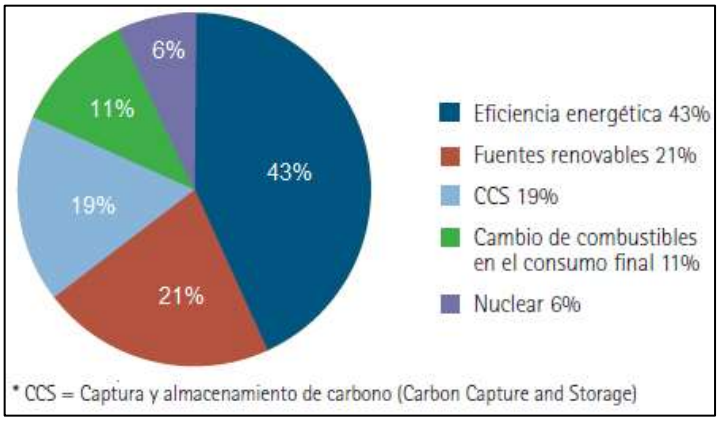


Figura 1.2 *Medidas necesarias para reducir al 50% las emisiones de GEI en 2050*
(*Perspectivas sobre Tecnología Energética – AIE, 2008*)

Por estas razones se desarrolla esta investigación partiendo con el objetivo de evaluar medidas para mejorar el consumo de energía, realizando una evaluación de las condiciones actuales y empezando por los principales consumidores energéticos de la planta de procesos, y de ahí identificar los posibles potenciales de ahorro en base a los conocimientos que se

expondrán en los siguientes capítulos, se estimara los potenciales de ahorro energético, económico y ambiental.

1.5 Alcance

La presente tesis abarca las mejores alternativas seleccionadas de los proyectos en base a poca a o nula inversión (buenas prácticas) y a los proyectos de inversión en tecnología para el ahorro de energía, previa evaluación energética del uso, consumo y desempeño de energía eléctrica asociada de manera directa e indirectamente a los motores eléctricos de inducción del sistema de fuerza, principalmente, ubicados en la planta de procesos de una refinería de petróleo.

1.6 Limitación

El desarrollo de la presente tesis solo estará enfocado desde el punto de vista energético, no se considerara otras condiciones como el mantenimiento correctivo ni las fallas que puedan presentar los motores eléctricos, ni tampoco otros equipos eléctricos que actúen directamente en el proceso.

Solo se analizara la selección de muestra del sistema de fuerza, que puede o no abarcar todos los motores de la planta de procesos y no estarán incluidos los motores eléctricos de otras áreas y/o sistemas.

Así mismo ante la ausencia y/o dificultad para recolectar la información y realizar las mediciones se asumirá con criterio los datos faltantes o se hará uso del benchmarking.

1.7 Metodología

El presente trabajo fue elaborado utilizando un lenguaje sencillo, claro y preciso con el fin de facilitar su entendimiento en aquellas personas interesadas en el tema.

1.7.1 Descripción

El proyecto de investigación se desarrollara en forma teórico – práctico, para ello se dará una descripción de la metodología de investigación utilizada en la presente tesis, como se observa en la **Tabla 1.2**.

Tabla 1.2 *Metodología de investigación utilizada*

N°	Metodología	Descripción
1	Tipo	Aplicada
2	Nivel	Descriptivo y comparativo
3	Método	Análisis
4	Diseño	Experimental
5	Población	Equipos eléctricos rotativos de planta de procesos de refinería de petróleo
6	Muestra	Motores eléctricos de 440 V
7	Técnicas	Documental (Información gráfica, fichas técnicas, registro de operación, etc.)
		Entrevista (Información verbal, personal de refinería, especialistas en energía)
		Observación (operación y funcionamiento en condiciones normales)
8	Instrumentos	Registros de instrumentos de medición eléctrica como: Analizador de redes, multímetros, pinza amperimétrica.
9	Fuente	Bibliografía (Libros de texto, tesis, normas, guías, manuales, etc.) Magnéticas (CD, DVD).

Para la parte aplicada, se considerara el siguiente planteamiento de actividades que se deben desarrollar, descritos en la **Tabla 1.3.**

Tabla 1.3 *Planteamiento de actividades*

N°	Actividad	Descripción
1	Preparación	- Planificación.
		- Definición de objetivos y metas.
		- Formación de equipo de trabajo.
		- Programación de desarrollo de actividades.
2	Visita a instalaciones	- Ubicación y selección de CCE.
		- Identificación de motores de muestra a evaluar.
3	Toma de datos	- Recolección de datos.
		- Mediciones (uso de equipos de ser necesario).
4	Contabilidad energética	- Procesamiento de la información
		- Análisis de datos.
		- Cálculos de balance energético.
5	Evaluación de propuestas de mejoras	- Identificación de potenciales de ahorro.
		- Evaluación de buenas prácticas.
		- Evaluación de proyectos en base a inversión.
6	Resultados	- Ahorro energético estimado (kWh).
		- Ahorro económico estimado (S/.).
		- Ahorro ambiental estimado (CO2).

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Definición de términos

Para el desarrollo y comprensión de la presente tesis se presentan las siguientes terminologías:

Arranque. Conjunto de operaciones manuales o automáticas, para poner en servicio un equipo.

Bomba hidráulica. Es una maquina rotórica que se utiliza para impulsar fluidos, transforma la energía mecánica en energía hidráulica, aumentando la presión o energía cinética de un fluido.

Carga. Cantidad de potencia que debe ser entregada en un punto dado de un sistema eléctrico.

Efecto Joule. Es el calentamiento del conductor al paso de la corriente eléctrica por el mismo, el valor producido en una resistencia eléctrica es directamente proporcional a la intensidad de corriente y a la tensión.

Eficiencia. Llamada también rendimiento es la relación entre la energía salida, útil, y la energía de entrada.

Eficiencia energética. Consumo de energía que se estima necesario para satisfacer la demanda de energía.

Energía. Es la capacidad que poseen los objetos para desarrollar un trabajo, se puede presentar de diferentes formas.

Energía eléctrica: Es la forma de energía que resulta del movimiento de las cargas eléctricas, en el interior de los materiales conductores, originadas por una diferencia de potencial entre dos puntos lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos.

Energía activa. Es la energía eléctrica utilizada, medida en (kW.h) por el medidor, se utiliza para hacer funcionar los equipos eléctricos.

Energía reactiva. Es la energía adicional a la energía activa, que algunos equipos que tienen arrollamientos eléctricos como motores, transformadores, balastos, necesitan para su funcionamiento.

Factor de carga (FC). Relación entre el consumo en un período de tiempo especificado y el consumo que resultaría de considerar la demanda máxima de forma continua en ese mismo período.

Factor de potencia (FP). Representa el factor de utilización de la potencia eléctrica activa (P) entre la potencia aparente (S), representada por el coseno de ángulo formado por el desfasamiento existente entre la tensión y la corriente.

Factor de servicio (FS). El factor de servicio del motor de CA es el multiplicador que, cuando se aplica a la potencia nominal, indica los caballos de potencia de carga permisible que se puede realizar en las condiciones especificadas por el factor de servicio.

Factor de operación. Relación entre el número de horas de operación de una unidad o central entre el número total de horas en el período de referencia.

Hidrocarburos. Sustancias compuestas por hidrogeno y carbono con alto poder calorífico, usada como combustible.

Horas Punta (HP): periodo comprendido entre las 18:00 horas a 23:00 horas de cada día del año a excepción de feriados y domingos.

Horas Fuera de Punta (HFP): Comprende al resto de horas del día no comprendidas en las horas de punta (HP).

Inducción. La inducción electromagnética es la producción de una diferencia de potencia eléctrica a lo largo de un conductor situado en un campo magnético cambiante, es la causa fundamental del funcionamiento de los generadores, motores eléctricos y la mayoría de las demás máquinas eléctricas.

Motor eléctrico. Máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

Operación. Es la aplicación del conjunto organizado de técnicas y procedimientos destinados al uso y funcionamiento adecuado de elementos para cumplir con un objetivo.

Par motor. Es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia.

Par de arranque. Es el que desarrolla el motor para romper la inercia y comenzar a girar.

Par nominal. Es el que produce el motor para desarrollar sus condiciones nominales de trabajo.

Petróleo. Llamado también crudo, es una mezcla de compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos.

Potencia. Es el trabajo o transferencia de energía realizada en la unidad de tiempo.

Potencia eléctrica. Es la tasa de producción, transmisión o utilización de energía eléctrica, generalmente expresada en Watts (W).

Potencia instalada. Suma de potencias nominales de máquinas de la misma clase (generadores, transformadores, convertidores, motores) en una instalación eléctrica.

Potencia máxima. Valor máximo de la carga que puede ser mantenida durante tiempo especificado.

Tablero de control. Son una serie de dispositivos que tienen por objeto contener los aparatos de control, medición, protección, indicadores y las alarmas, ubicada dentro de una subestación.

Tensión. Es la diferencia de potencial eléctrico, de un cuerpo, entre dos puntos que produce la circulación de corriente eléctrica cuando existe un conductor que los vincula, se mide en Volt (V) y comúnmente se la suele llamar voltaje.

Subestación eléctrica. Denominada así al conjunto de aparatos eléctricos, localizados en un mismo lugar, necesarias para la conversión o transformación de energía eléctrica y para el enlace entre dos o más circuitos eléctricos.

2.2 Motores eléctricos

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotativas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica, por el principio de conservación de la energía electromecánica.

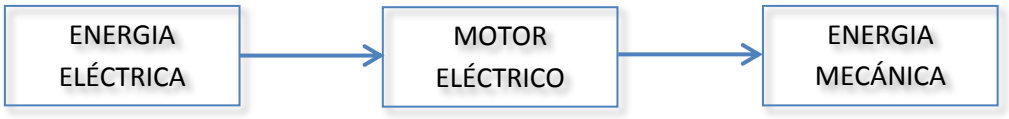


Figura 2.1 *Flujo de conversión de energía*

2.2.1 Clasificación de los motores eléctricos

Los motores eléctricos son muchos y variados por lo que existen numerosas formas de clasificarlos, la forma más usual es por el tipo de alimentación eléctrica, por lo cual pueden ser motores de corriente directa o corriente continua (DC) y motores de corriente alterna (AC).

2.2.1.1 Motores de corriente directa (DC)

En los motores eléctricos de corriente directa o continua, la corriente de alimentación no varía con el tiempo, ya que generalmente son alimentados por pilas, baterías o se utilizan rectificadores de potencia que convierte la corriente alterna en continua, estos motores son utilizados en casos en los que es importante el poder regular continuamente la velocidad de rotación, se dividen en cuatro tipos dependiendo de la forma de alimentación del estator, como se muestra en la **Figura 2.2**:

a. Shunt o llamado también derivación, en este motor el estator se alimenta con la misma tensión de alimentación del inducido.

b. Independiente, en este motor el estator se alimenta con una fuente de corriente continua independiente.

c. Serie, en este motor se hace un tipo de conexión para que la corriente que atraviesa los devanados del estator sea la misma que alimenta el inducido.

d. Compound o compuesto, es una combinación de las conexiones en Serie y en Derivación.

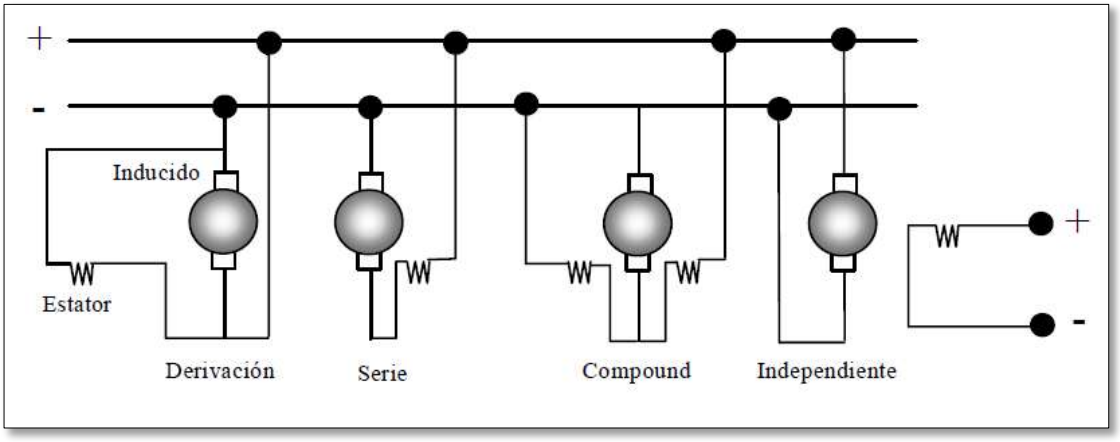


Figura 2.2 *Esquema de tipos de motores de corriente directa* (*Manual motores eléctricos - UPB*)

2.2.1.2 Motores de corriente alterna.

En los motores eléctricos de corriente alterna, la corriente varía con respecto al tiempo, ya que se alimentan directamente con los sistemas de distribución, son los más usados en la industria dado su simplicidad, costo económico y fiabilidad. Estos motores se pueden dividir respecto al número de fases principalmente en motores monofásicos y motores trifásicos, como se describe a continuación:

a. Monofásico (1Ø), pueden ser de fase, universal, de repulsión y de polos sombreados.

b. Trifásico (3Ø), Se clasifican en motores asíncronos (o de inducción) y síncronos. En los motores síncronos el eje gira a la misma velocidad que lo hace el campo magnético y en los motores asíncronos el eje se revoluciona a una velocidad poco menor a la del campo magnético.

2.2.1.3 Motores Universales.

Los motores universales tienen la forma de un motor de corriente continua, la principal diferencia es que está diseñado para funcionar con corriente alterna. El inconveniente de este tipo de motores es su eficiencia, ya que es baja del orden del 51%, pero como se utilizan en máquinas de pequeña potencia ésta no se considera importante, además su operación debe ser intermitente de lo contrario éste se quemaría, son utilizados en taladros, aspiradoras, licuadoras, etc.

Se puede realizar una clasificación general a modo de resumen como se muestra en la siguiente **Tabla 2.1**.

Tabla 2.1 *Clasificación general de motores eléctricos*

Tipo de corriente / Máquina eléctrica	*Corriente continua*	*Corriente alterna*
Motores	Motor (con excitación): Independiente; Serie; Shunt o derivación; Compound	Monofásicos: Inducción: Jaula: Fase partida, Condensador, Espira de sombra; Rotor devanado: Repulsión, Repulsión en arranque, Repulsión-inducción; Síncrono: Histeresis, Reluctancia, Imán permanente. Polifásicos: Inducción: Jaula de ardilla, Rotor devanado; Síncronos. Universales

2.3 Motor asíncrono trifásico

El motor asíncrono o llamado también de inducción, es el motor eléctrico más usado en la industria, por ello se estudiara con más detalle indicando las principales características como son la forma constructiva, el funcionamiento y el rendimiento el cual tiene importancia en el desarrollo de la presente tesis.

2.3.1 Constitución de un motor asíncrono

Las partes fundamentales de un motor asíncrono de inducción son el estator, el rotor, la carcasa, la caja de conexión, las tapas y los cojinetes, no obstante el motor puede funcionar solo con el estator y el rotor.

2.3.1.1 Estator

Llamado también el inductor, es la parte fija del motor que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor, el estator se mueve magnéticamente, y está conformado principalmente de un conjunto de láminas de acero al silicio, llamado paquete, que tienen la habilidad de permitir que pase a través de ellas el flujo magnético con facilidad, la parte metálica del estator y los devanados que proveen los polos magnéticos, estos polos son pares (2, 4, 6, 8, 10, etc.), el mínimo de polos que puede tener un motor para funcionar un motor son dos (norte y sur).

2.3.1.2 Rotor.

Llamado también el inducido, la parte móvil de motor, es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica, conformado por el eje y un conjunto de láminas de acero al silicio y según el tipo de rotor puede ser:

a. Rotor en cortocircuito llamado también jaula de ardilla, está compuesto por un conjunto de barras conductoras de cobre unidas en sus extremos por anillos.

b. Rotor bobinado, está compuesto por un arrollamiento (devanado) introducido en ranuras similares a las del estator, los extremos de cada fase se conectan a unos anillos colectores montados sobre el eje aislados eléctricamente de él.

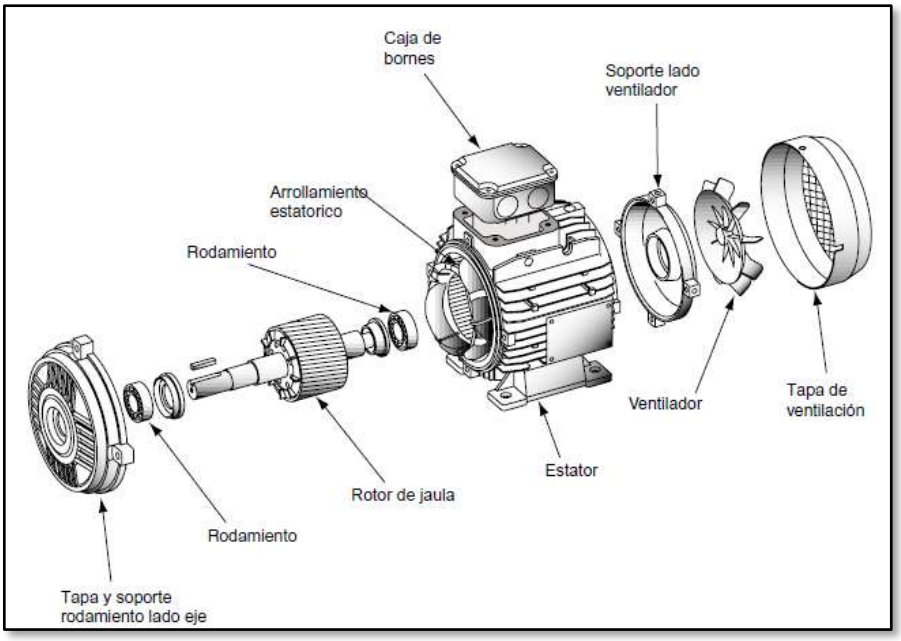


Figura 2.3 *Partes de un motor con rotor en cortocircuito* (*Cuaderno Técnico Schneider n°207/p.8*)

2.3.1.3 Carcasa.

La carcasa es la superficie envolvente del motor (parte que protege y cubre al estator y al rotor), el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación. Así pues, la carcasa puede ser.

a. Abierto, el cual permite el paso del aire frío sobre y alrededor de los embobinados del motor, aunque este tipo se utiliza en pocas ocasiones.

b. Abierto aprueba de goteo, en el cual la ventilación impide la entrada de líquidos o sólidos al motor, en un ángulo menor a 15 grados con la vertical, ya sea en forma directa o por choque y flujo por una superficie horizontal o inclinada hacia adentro.

c. Resguardado o protegido, donde las aberturas conducen el aire de enfriamiento directamente a partes giratorias, exceptuando los ejes lisos del motor, tienen acceso limitado a sus partes mediante estructuras, parrillas o metal desplegado, etc. protegiendo el contacto accidental con partes giratorias o eléctricas.

d. Aprueba de chorro y salpicaduras, en el cual la ventilación impide la entrada de líquidos o sólidos en cualquier ángulo menor de 100 grados de la vertical.

e. Abierta a prueba de lluvia, es abierta con conductos de ventilación diseñados para reducir al mínimo la entrada de lluvia y partículas suspendidas en el aire a las partes eléctricas del motor.

f. A prueba de agua, posee una carcasa totalmente cerrada para impedir que entre agua aplicada en forma de un chorro o manguera al recipiente de aceite y con medios para drenar agua al interior, como una válvula de retención o una abertura en la parte inferior del armazón, para conectar el drenado.

g. Encapsulados, es un motor abierto en el cual el embobinado está cubierto con un revestimiento de material fuerte para proporcionar protección contra la humedad, suciedad y contra substancias abrasivas.

h. Totalmente cerrado, es un motor cerrado para evitar el libre intercambio de aire entre el interior y exterior de la cubierta, pero no es hermético.

i. Totalmente cerrado sin ventilación, es totalmente cerrado el cual está diseñado para no ser enfriado por medios externos.

j. Totalmente cerrado con ventilador-enfriador, es un motor totalmente cerrado con un ventilador para soplar aire a través de la carcasa externa. Esto es comúnmente utilizado en atmósferas corrosivas, sucias y polvosas.

k. A prueba de ignición de polvos, posee una carcasa totalmente cerrada diseñada y fabricada para evitar que entren cantidades de polvo que puedan encender o afectar el desempeño del motor.

l. A prueba de explosiones, totalmente cerrado diseñado para impedir una ignición de gas o vapor alrededor de la máquina provocada por chispas, flama, o explosión dentro de la máquina impidiendo que salgan fuera de la carcasa.

2.3.1.4 Caja de conexión

Por lo general, en la mayoría de los casos los motores eléctricos cuentan con una caja de conexiones o llamada también caja de bornes, es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos.

2.3.1.5 Tapas

Son los elementos que van a sostener en la gran mayoría de los casos a los cojinetes o rodajes que soportan la acción del rotor, consta de una tapa del lado del eje y otra del lado del ventilador.

2.3.1.6 Cojinetes

También conocidos como rodajes, contribuyen a la óptima operación de las partes giratorias del motor, se utilizan para sostener y fijar ejes mecánicos, y para reducir la fricción lo que contribuye a lograr que se consuma menos potencia. Los cojinetes pueden dividirse en dos clases generales.

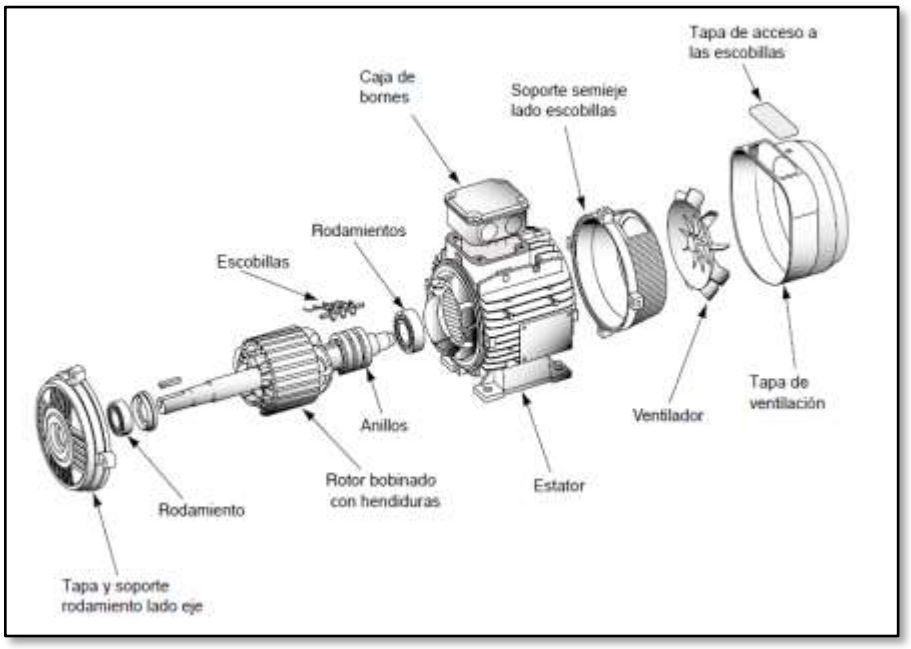


Figura 2.4 *Partes de un motor eléctrico con rotor bobinado* (*Cuaderno Técnico Schneider n°207/p.10*)

2.3.2 Principio de funcionamiento

Los motores asíncronos basan su funcionamiento en la creación de un campo magnético giratorio en el entrehierro, debido a la circulación de corriente alterna por los devanados trifásicos y la influencia de los polos magnéticos del estator, el flujo (ϕ) del campo magnético creado es de valor constante y giratorio a velocidad inferior a la de sincronismo.

El flujo giratorio creado corta los conductores del rotor, generando fuerzas electromotrices inducidas, la acción mutua del flujo giratorio y las corrientes en los conductores del rotor origina fuerzas electrodinámicas sobre el rotor haciéndolo girar.

2.3.2.1 Creación de campo magnético giratorio

El estator presenta tres arrollamientos geométricamente desfasados 120°, estos se alimentan de cada fase de la red trifásica a través de los bornes U1, V1 y W2 del motor de inducción,

véase **Figura 2.5**, la corriente que también presenta desfase de 120° eléctricos recorre los arrollamientos produciendo en cada una un campo magnético.

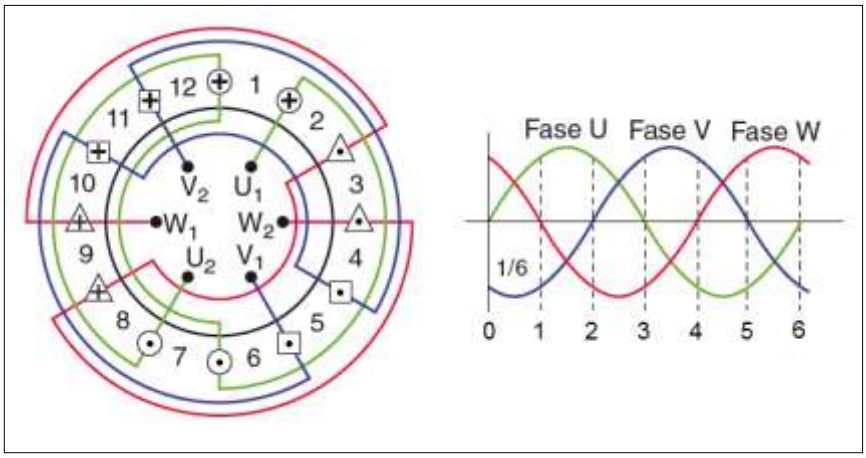


Figura 2.5 *Principio de funcionamiento de motor asíncrono trifásico*

La posición del flujo (ϕ) resultante puede representarse como sigue, véase la **Figura 2.6**, donde el signo positivo representa que la corriente entra al plano y el punto que sale del plano.

En la posición 0, La fase U presenta valor 0, la fase V presenta valor negativo y la corriente de esta fase circula de V_2 hasta V_1, la fase W presenta valor positivo y la corriente de esta fase circula de W_1 hasta W_2, el flujo resultante de las 2 fases en ese instante se sitúa entre las ranuras 7 y 8.

En la posición 1, la fase W presenta valor 0, la fase V presenta valor negativo y la corriente de esta fase circula de V_2 hasta V_1, la fase U presenta valor positivo y la corriente de esta fase circula de U_1 hasta U_2, en ese instante la resultante del flujo se sitúa entre las ranuras 9 y 10, con lo que ha avanzado un sexto de la circunferencia de la posición 0 a 1, que equivale a un sexto del periodo de la corriente.

Aplicando sucesivamente a las demás posiciones se observa que la resultante del flujo magnético generado también se avanza un sexto de la circunferencia, verificando que el flujo es giratorio.

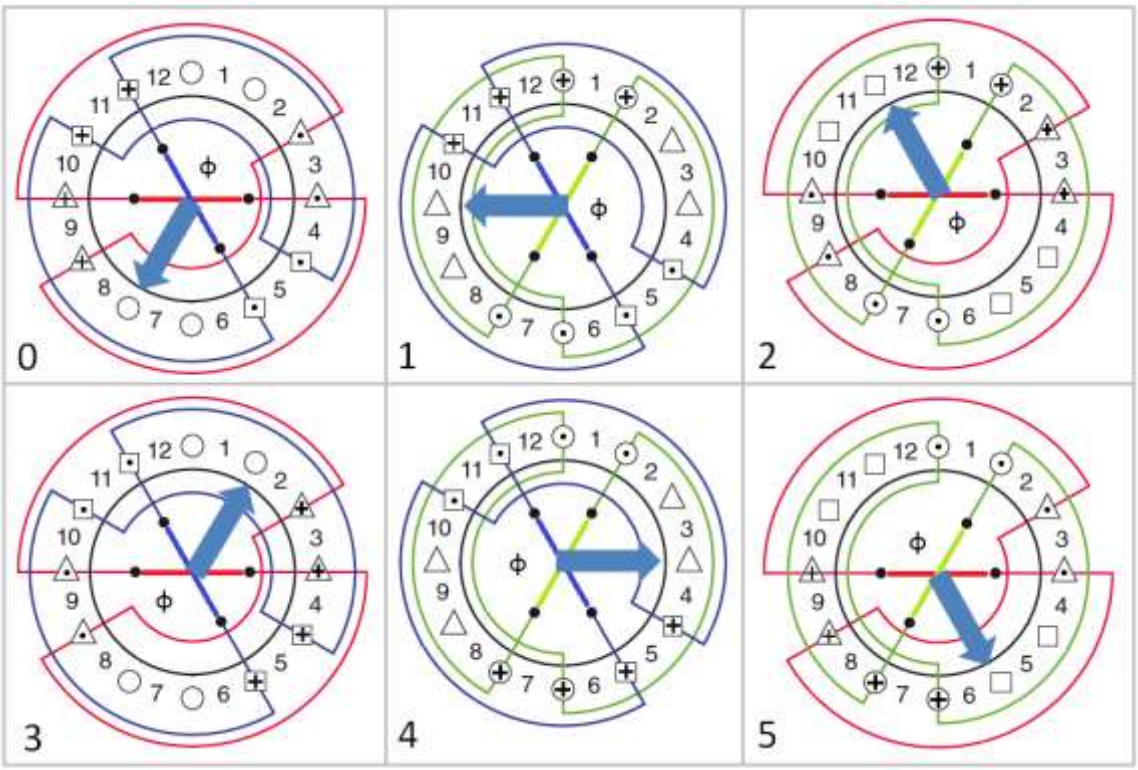


Figura 2.6 *Posiciones del flujo magnético resultante*

2.3.2.2 Velocidad de sincronismo

Denominada así a la velocidad del campo magnético giratorio, se define por:

$$N_s = \frac{120\ f}{p} \tag{2.1}$$

Donde:

N_S : Velocidad de sincronismo (RPM)

f : Frecuencia (Hz)

p : Numero de polos

La velocidad de giro de un motor eléctrico está determinada por el número de polos magnéticos, entre más polos el motor girara más lento. En la **Tabla 2.2** se indican las velocidades de sincronismo, en función del número de polos para cada una de las frecuencias industriales utilizadas de 50 Hz, 60 Hz y en algunos casos especiales de 100 Hz.

Tabla 2.2 *Velocidades de Sincronismo* (*Cuaderno Técnico Schneider n°207/p.7*)

Número de polos	Velocidad de rotación en rpm		
	50 Hz	60 Hz	100 Hz
2	3000	3600	6000
4	1500	1800	3000
6	1000	1200	2000
8	750	900	1500
10	600	720	1200
12	500	600	1000
16	375	540	750

La velocidad de rotación del rotor en los motores asíncronos de inducción es siempre inferior a la velocidad de sincronismo (velocidad del flujo giratorio), para que se genere una fuerza electromotriz en los conductores del rotor ha de existir un movimiento relativo entre los conductores y el flujo giratorio.

2.3.2.3 Deslizamiento

Los motores eléctricos asíncronos no giran a la velocidad del campo magnético, llamada velocidad síncrona si no que lo hacen a una velocidad muy próxima. Se llama deslizamiento a la diferencia entre la velocidad del sincronismo y la del rotor, expresada como un porcentaje de la velocidad de sincronismo y se define por:

$$s = \frac{N_S - N}{N_S} x100 \qquad (2.2)$$

Donde:

s : Deslizamiento

N_S : Velocidad de sincronismo (RPM)

N : Velocidad del rotor (RPM)

2.4 Características de operación de motores asíncronos

Entre las características de operación que se deben tener en cuenta en un motor asincrónico se encuentran:

2.4.1 Corriente

La corriente eléctrica es definida como es la rapidez del flujo de carga que pasa por un punto dado en un conductor eléctrico y en un tiempo determinado, la unidad de la corriente es el Ampere (A).

En los motores eléctricos, presentan distintos tipos de corriente que principalmente son: corriente nominal, corriente de vacío, corriente de arranque y corriente a rotor bloqueado como se muestra a continuación:

a. Corriente nominal, es la cantidad de corriente que consumirá el motor en condiciones normales de operación.

b. Corriente de vacío, Es la corriente que consumirá el motor cuando se encuentre operando sin carga y es aproximadamente del 20% al 30 % de su corriente nominal.

c. Corriente de arranque, es la elevada corriente consumida por el motor cuando empieza a operar, que es aproximadamente de 2 a 8 veces la corriente nominal.

d. Corriente a rotor bloqueado, es la corriente máxima que soporta el motor cuando su rotor está totalmente detenido.

2.4.2 Tensión

Llamado también voltaje, se define como la diferencia de potencial de potencial que existe entre dos puntos, y es el trabajo necesario para desplazar una carga positiva de un punto a otro expresado en Volts (V).

La tensión es importante en la operación de un motor, ya que de esto dependerá la obtención de un mejor aprovechamiento de la operación, los voltajes empleados más comunes son 127 V, 220 V, 380 V, 440 V, 2,3 kV y 6 kV; en el funcionamiento se permiten fluctuaciones del orden de ± 5% de la tensión nominal según la norma técnica de calidad de servicio (NTCSE).

2.4.3 Factor de potencia

El factor de potencia (cosØ) se define como la razón que existe entre la potencia real y la potencia aparente, siendo la potencia aparente el producto de los valores eficaces de la tensión y de la corriente, el factor de potencia siempre es menor a la unidad y regularmente oscila entre 0.80 y 085, en los motores asíncronos varían dependiendo del porcentaje de carga, se verá con más detalle en el capítulo V.

2.4.4 Potencia

La potencia se define como la rapidez con la que se realiza un trabajo, la unidad de la potencia es el Watt (W), sin embargo esta unidad tiende a ser demasiado pequeña para propósitos industriales, por ello en el caso de los motores eléctricos se usan el kilowatt (kW) y el caballo de fuerza (HP) que se expresan como:

$$1\ kW = 1000\ W$$

$$1\ HP = 0.746\ kW$$

1 kW = 1.34 HP

La potencia eléctrica consumida por un motor asíncrono trifásico se calcula por:

$$P = \frac{\sqrt{3}\, V\, I\, cos(Ø)}{1000} \tag{2.3}$$

Dónde:

P : Potencia eléctrica (kW)

V : Tensión (V)

I : Corriente (A)

$Ø$: Angulo de factor de potencia

2.4.5 Par motor

El par motor se refiere al equivalente de la fuerza por la distancia que es capaz de ejercer un motor en un giro, se expresa y se mide en Newton-metro (N-m).

a. Par nominal, es el par que se produce en un motor eléctrico para que pueda desarrollar sus condiciones de diseño.

b. Par de arranque, es el par que se va a desarrollar el motor para romper sus condiciones iniciales de inercia y pueda comenzar a operar.

c. Par de aceleración, es el par que desarrolla el motor hasta que alcanza su velocidad nominal.

d. Par de desaceleración, es el par en sentido inverso que debe emplearse para que el motor se detenga.

e. Par a rotor bloqueado, se considera como el par máximo que desarrolla un motor cuando se detiene su rotor.

2.5 Pérdidas y rendimiento en motores eléctricos

En el proceso de la transformación electromecánica, en una maquina eléctrica rotativa, una fracción de la energía se convierte en calor y no es utilizada, formando las llamadas pérdidas de la máquina, **Figura 2.7**, las cuales dependen del diseño, construcción del motor, materiales y la calidad del proceso de manufactura. Las pérdidas de un motor de inducción pueden agruparse en dos bloques, las que dependen del índice de carga del motor y las que son independientes de la carga como se verá en la **Tabla 2.5**.

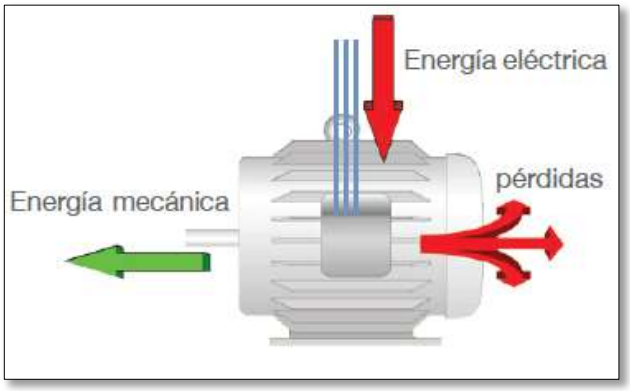


Figura 2.7 *Perdidas de un motor eléctrico* (*Motores eléctricos BUN-CA /p.9*)

2.5.1 Pérdidas de energía

Las pérdidas de energía en un motor eléctrico se dan principalmente por los siguientes factores: calor, fricción, ventilación, pérdidas en el núcleo (P_{Fe}) y pérdidas en el cobre (P_{cu}), y estas se pueden definir como:

2.5.1.1 Pérdidas en el Cobre (P_{cu}).

Las pérdidas de energía en forma de calor originadas por el efecto joule, debido a la resistencia en los arrollamientos de cobre, la cual dependen del valor de la corriente (I) y del valor de la resistencia (R) del devanado, ya sea en el inductor (estator) o en el inducido (rotor).

$$P_{CU} = I^2 R \tag{2.4}$$

2.5.1.2 Pérdidas en el Núcleo (P_{Fe})

Pérdidas en el hierro que se producen por los flujos variables que recorren en todas las partes de la máquina, están en función de las propiedades magnéticas y del espesor en la lámina de acero. Son independientes de la carga y se componen de por perdidas por corriente de Foucault (P_F) y perdidas por histéresis (P_H).

$$P_{Fe} = P_H + P_F \tag{2.5}$$

2.5.1.3 Pérdidas mecánicas (P_m)

Estas pérdidas son deben a la fricción por el rozamiento en los rodajes y en las escobillas, así como la ventilación (circulación de aire de enfriamiento), dependen de la velocidad de giro de la máquina, siendo independientes de la carga para una velocidad determinada.

2.5.1.4 Pérdidas adicionales (P_{ad})

Perdidas indeterminadas, debido a flujo disperso inducido por las corrientes de cargas y otras corrientes menores.

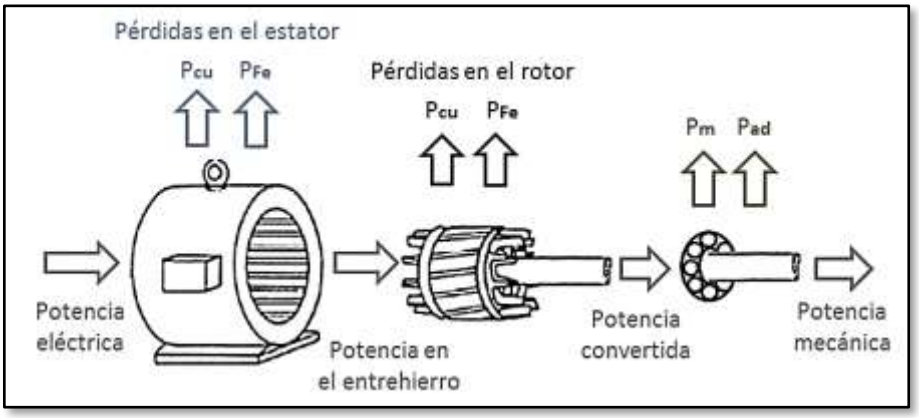


Figura 2.8 *Tipo de pérdidas de un motor eléctrico* (*Motores eléctricos BUN-CA /p.9*)

Se enumeran a continuación, **Tabla 2.3** los tipos de pérdida de motor, con el porcentaje típico de las pérdidas totales del motor que representan, y los factores de diseño y construcción que influyen en su magnitud.

Tabla 2.3 *Distribución de pérdidas en un motor trifásico de 4 polos*
(*IEC 60034-31:2009 Ed1. p/11*)

Tipo de perdidas	Porcentaje típico de perdidas	Factores que afectan estas perdidas
Estator	30 - 50 %	Tamaño y material del conductor del estator
Rotor	20 - 25 %	Tamaño y material del conductor del rotor
Núcleo	20 - 25 %	Tipo y cantidad de material magnético
Mecánicas	5 - 10 %	Selección/diseño de ventilador y rodajes
Adicionales	5 - 15 %	Principalmente métodos de diseño y fabricación

En general al aumentar el material activo del motor, es decir, el tipo y el volumen de los conductores y materiales magnéticos, las pérdidas pueden reducirse, esto se aprecia en los motores de mayor potencia como se muestra en las **Tabla 2.4**.

Tabla 2.4 *Tipos de pérdidas en función de la potencia de un motor tipo abierto*[3]
(Manual Técnico Motores Eléctricos - BUN CA)

Tipo de perdidas	Potencia del Motor (HP)		
	25	50	100
Estator	42%	38%	28%
Rotor	21%	20%	18%
Núcleo	15%	14%	13%
Mecánicas	7%	10%	14%
Adicionales	15%	18%	27%
Total	100%	100%	100%

[3] *Motor Abierto, es un motor que permite el paso de aire exterior alrededor y a través de sus embobinado para su refrigeración.*

Las pérdidas de un motor de inducción se agrupan en dos bloques las que dependen del índice de carga del motor, y las que son independientes de la carga. Una distribución de las pérdidas en función de la carga se muestra en la **Tabla 2.5** y en la **Figura 2.9**.

Tabla 2.5 *Factores que determinan las pérdidas de un motor eléctrico*
(Manual Técnico Motores Eléctricos - BUN CA)

Tipo de perdida	Donde ocurren	Factores que determinan las perdidas	como se disminuyen
Independientes del índice de carga	Núcleo, armazón, rodajes, ventilador	1. Tipo, calidad y cantidad de material magnético 2. Capacidad de eliminar calor 3. Fricción entre las partes rodantes 4. Tipo de material aislante	1. Empleando acero de mejor calidad magnética como acero al silicio. 2. Con una armadura diseñada para disipar mejor el calor 3. Utilizando un material aislante que resista mayor la temperatura. 4. Con un ventilador de enfriamiento de diseño aerodinámico. 5. Utilizando rodajes de antifricción.
Dependientes del índice de carga	Estator y rotor	1. La potencia entregada por el motor reflejada por el índice de carga y la corriente eléctrica, su magnitud es el cuadrado de la corriente por la resistencia eléctrica del conductor	1. Utilizando conductores de mejor calidad con menor resistencia 2. Con un diámetro adecuado y mayor cantidad de conductor eléctrico. 3. Mayor área de laminación 4.Espacio del entrehierro más estrecho

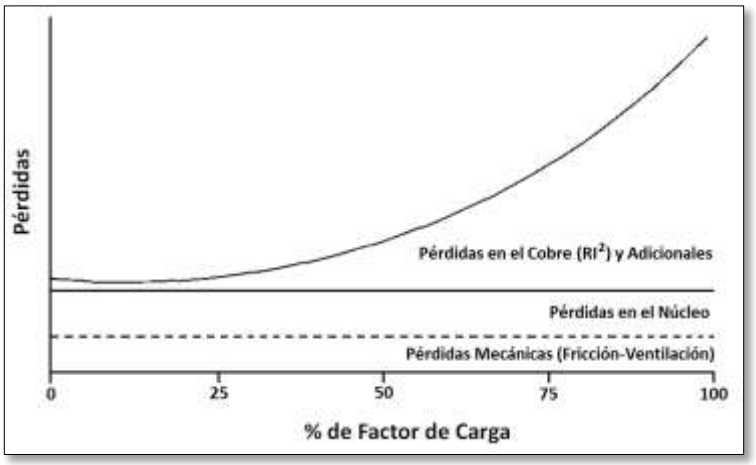


Figura 2.9 *Comportamiento de las pérdidas en función de la carga de un motor eléctrico*
(*Medición de eficiencia de motores de inducción, 2005 FIME – UANL / p.37*)

2.5.2 Eficiencia

La eficiencia o rendimiento de toda máquina se define por la relación entre la potencia utilizada y la potencia suministrada, como se muestra en la expresión.

$$n = \frac{Pu}{Ps} \tag{2.6}$$

Donde:

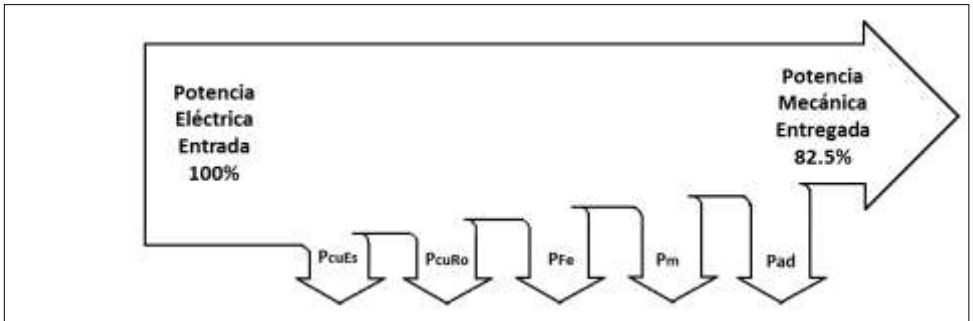
n : Eficiencia

Ps : Potencia suministrada

Pu : Potencia utilizada

2.5.3 Diagrama energético del motor eléctrico

Se presenta la comparación de las pérdidas antes descritas para un motor de 5 HP (3730 W), con una eficiencia del 82.5 %, donde las pérdidas representan el 17.5 % (653 W), los valores y porcentajes de cada tipo de perdida se muestran en la **Figura 2.10**.



		Pérdidas Estator Pcu	Pérdidas Rotor Pcu	Pérdidas Núcleo PFe	Pérdidas Mecánica Pm	Pérdidas Adicionales	Total
Promedio del Motor Estándar	Porcentaje de Pérdidas	40%	25%	20%	5%	10%	100%
	Pérdidas Reales (W)	261 W	163 W	131 W	33 W	65 W	653 W
Motor de Energía Eficiente	Pérdidas Reales (W)	190 W	75 W	102 W	27 W	8 W	402 W
	Reducción en por ciento	-27%	-54%	-22%	-18%	-87%	-38%

Figura 2.10 *Diagrama energético de un motor de 5HP*

(*Medición de eficiencia de motores de inducción, 2005 FIME – UANL / p.36*)

2.6 Eficiencia energética

La eficiencia energética puede definirse como la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos o servicios finales obtenidos el cual debe conducir a obtener el mismo resultado anterior, manteniendo o mejorando su calidad, pero con un menor consumo de energía (uso eficiente de la energía UEE). El servicio prestado por la energía debe mantenerse o mejorarse con la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos de consumo en la sociedad.

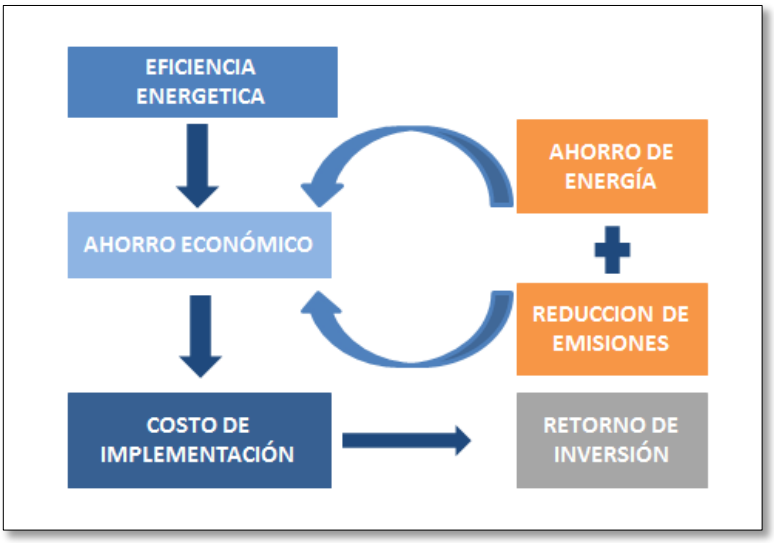


Figura 2.11 *Esquema de proceso de eficiencia energética*

2.6.1 Indicadores energéticos

Los indicadores energéticos son ratios técnico-económicos, usados a niveles finales de consumo de energía, que relacionan el consumo de energía con un indicador de una actividad, se puede realizar comparando los valores actuales de la eficiencia energética con los datos de años anteriores y analizando cuáles son las tendencias a largo plazo.

Se requiere disponer de indicadores, diseñados para seguir los cambios de la eficiencia energética, basados en datos estadísticos fiables sobre balances energéticos, recogidos y analizados con una misma metodología para que sea posible realizar comparaciones.

Se utiliza conjuntamente con la intensidad energética para describir la relación entre la energía utilizada y el servicio producido. La intensidad se utiliza para medir y evaluar la eficiencia aunque son inversamente proporcionales: cuanta menos energía se utiliza para un servicio, mayor será la eficiencia, por lo que la disminución de la intensidad energética implica mayor eficiencia.

Los indicadores se pueden clasificar en dos categorías principalmente:

2.6.1.1 Indicador general

El primer tipo de indicador, incluye aquellos que reflejan consumos totales de energía, miden la cantidad total de energía consumida para generar un volumen dado de productos o actividad e indican cuanta energía se consume, se mide en Julios, kWh, calorías, Btu, etc.

2.6.1.2 Indicador especifico

Es el segundo tipo de indicador, miden consumos específicos o intensidad energética e indican la energía necesaria para obtener una unidad de producción, comparando la energía real consumida por un proceso productivo y el consumo teórico que se espera que hubiese tenido para realizar la misma actividad de haber seguido un patrón de consumo de referencia, estos indicadores son independientes del volumen o actividad o producción se miden en GJ / (unidad de producción).

2.6.1.3 Consumo real de energía de una instalación

Se refiere a la cantidad de energía consumida por la instalación, depende del nivel de producción y cuanto mayor sea el uso de la instalación para producir mayor será el consumo energético. Los valores se obtienen a partir de contadores, medidores, instrumentos de control, etc., se suele cuantificar en kWh, GJulios, calorías, Btu entre otras.

2.6.1.4 Parámetros de actividad.

Conjunto de parámetros característicos, vinculan los servicios producidos con la energía real consumida por los equipos empleados en la operación. Para el sector industrial el parámetro de actividad son las toneladas producidas.

2.6.1.5 Consumo especifico

Se caracteriza por un parámetro de actividad único, se puede calcular el consumo específico de energía como el cociente entre el consumo real de energía y cada unidad de producción. Se mide en (unidades de energía) / (unidad de producción), pueden ser [GJ / tonelada], [kWh / Litro], etc.

2.6.2 Eficiencia energética actual

La Agencia Internacional de Energía (AIE) recomienda 25 lineamientos de política de eficiencia energética que deben desarrollar todos los países de mundo para lograr reducir sus consumos de energía y emisiones (GEI), el cual comprende 5 lineamientos intersectoriales y 20 sectoriales, referidos respectivamente a la industria (4) (véase Anexo A), edificios (5), electrodomésticos y equipos (3), iluminación (2), transporte (5), y servicios públicos de energía (1).

El balance actual para el Perú indica que se ha cumplido con uno de los lineamientos, 7 están en proceso de implementación y 17 no se ha ejecutado ninguna acción como se observa en la **Figura 2.12**.

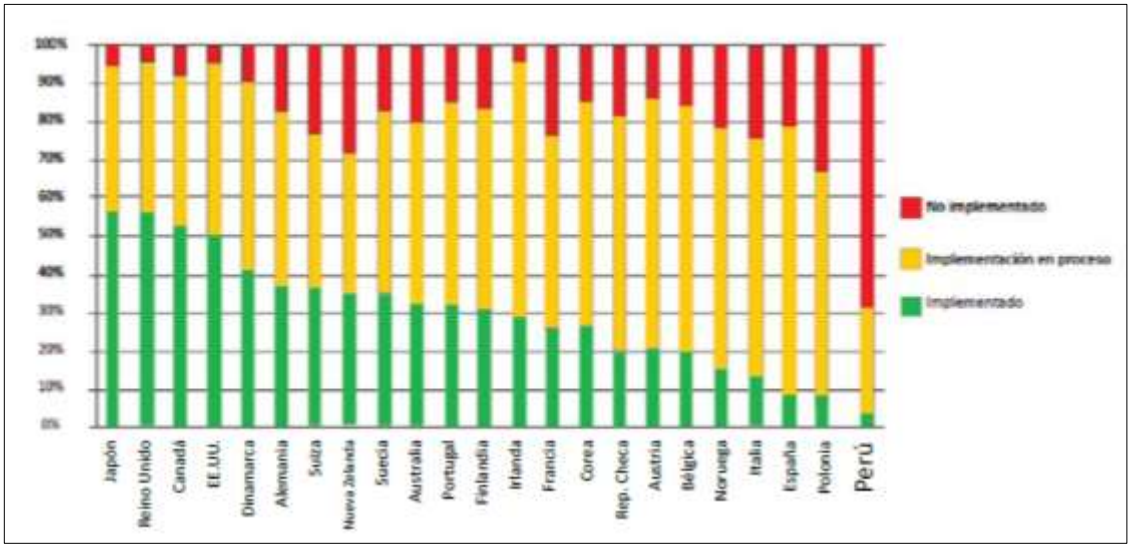


Figura 2.12 *Avances en la implementación de políticas de eficiencia energética recomendadas por la agencia internacional de energía (AIE 2010)*

2.7 Auditoria energética

Una auditoria energética es una inspección, estudio y análisis de los flujos de energía en un edificio, proceso o sistema, con el objetivo de comprender la energía dinámica del sistema bajo estudio, una auditoria energética se lleva a cabo buscando oportunidades para reducir la cantidad de energía de entrada en el sistema sin afectar negativamente la salida.

La auditoría energética se puede dividir en cuatro fases que se describen a continuación:

2.7.1 Tipo de auditoría energética

2.7.1.1 Auditoría energética

Con este nombre se hace referencia al estudio energético de la industria con el nivel más detallado posible, se caracteriza principalmente por su actuación sobre la eficiencia energética, proponiendo medidas de mejora de la misma, para ello se deberá analizar energéticamente los tres subsistemas mencionados generación, transporte y consumo final en proceso.

2.7.1.2 Evaluación energética

Se reserva este nombre a un estudio energético de grado inferior a la auditoria energética, se diferencia de la auditoria en la profundidad del análisis energético, así como en el detalle de las medidas de ahorro seleccionadas y el estudio de inversiones aportado.

2.7.1.3 Pre-evaluación energética

La pre-evaluación energética también intentara disminuir el consumo de energía mediante la corrección de la eficiencia energética; en este caso, solo atenderá y de manera somera, algunos sistemas y equipos consumidores. El objetivo de este estudio es detectar las posibles ineficiencias energéticas, identificando los potenciales de ahorro de la empresa o instalación industrial auditada.

Normalmente se realiza mediante un análisis de la facturación energética, llevándose a cabo alguna visita a las instalaciones y manteniendo reuniones con el personal de la empresa.

2.7.1.4 Integración energética de procesos (Pinch point).

Este tipo de estudio energético se centra sobre la demanda energética. En esencia, la integración de procesos permite diseñar y modificar las redes de intercambio existentes en la instalación, con el objeto de optimizar la recuperación energética entre las corrientes calientes y frías del proceso. Con estas técnicas de reducción de la demanda, se consigue obtener ahorros energéticos entre el 10 y el 35% de su factura actual, dependiendo del sector industrial.

2.7.2 Análisis de la estructura energética

El objetivo de esta fase es conocer cómo se recibe la energía en la empresa, cómo se transforma, distribuye y se consume en los equipos finales de proceso. El nivel de profundidad al que se puede llegar en su conocimiento, dependerá de la monitorización energética existente de los diferentes procesos y fases.

El primer paso será el conocimiento de la actividad industrial a auditar seguido de un detallado estudio del proceso productivo en cuestión, ver capítulo III, poniendo especial énfasis en los procesos consumidores de energía. Para ello se contará con la información acerca del proceso productivo facilitada por la empresa, identificando los equipos consumidores de energía de cada planta y los sistemas de distribución de energía. Igualmente se requiere conocer la operación anual de la planta y la producción obtenida en el periodo de tiempo para el que se recaba la información de consumos energéticos, recomendado entre 1 y 2 años.

En esta fase se toman datos, como la facturación eléctrica y los diagramas de proceso que se solicitarán directamente a la empresa. La contabilidad energética se realiza a partir de la facturación energética y de los datos tomados, ver Anexo B, así como del análisis del proceso productivo. Se analizan los datos de los equipos existentes, ver Anexo C, y se estudian las posibles desviaciones entre la facturación y el consumo medido como se verá en el capítulo V.

2.7.3 Análisis de eficiencia energética

Un buen desarrollo de la fase anterior permite conocer, al nivel de detalle adecuado, el proceso productivo y la estructura del consumo energético y los posibles puntos dónde centrar los esfuerzos para lograr el mayor ahorro energético. Para esto último, se analiza la eficiencia energética en los equipos y sistemas de la planta que, en la fase anterior, han presentado potenciales de ahorro energético.

El análisis de eficiencia energética requiere la realización de balances de materia y energía en los equipos o sistemas, calculando el rendimiento y valorando las pérdidas energéticas que tienen lugar. Los resultados de los balances de materia y energía dependerán de la fiabilidad de los datos de partida y en la mayoría de los casos será necesario realizar medidas in situ de ser posible.

Para identificar posibilidades de ahorro, se estudiarán las siguientes posibilidades de mejora energética en equipos:

1. Disminución de pérdidas energéticas
2. Aprovechamiento de energías residuales
3. Modificación de las condiciones de operación para mejorar la eficiencia del equipo.
4. Mejora en el mantenimiento de los equipos.
5. Cambio de la tecnología existente por otra más eficiente.

En esta fase se deben recoger todas las alternativas posibles de ahorro energético, clasificadas según los niveles anteriores, sin entrar en detalle sobre su viabilidad económica.

2.7.4 Evaluación de medidas de ahorro energético

De todas las medidas propuestas por el auditor deben seleccionarse para el estudio aquellas que sean técnica y económicamente viables. Esta selección debe realizarse por el auditor con la colaboración de los responsables de la empresa. Una vez seleccionadas todas las posibles alternativas de ahorro energético, ver capítulo V, se analizarán las mismas según la metodología que se describe a continuación.

Las medidas de ahorro se pueden clasificar en:

1. Mejora de eficiencia en el consumo energético de los equipos.

2. Mejora de eficiencia en la distribución de la energía.

3. Recuperación energética.

Para cada medida se debería evaluar principalmente:

1. Ahorro energético, expresado en (kWh).

2. Ahorro económico (S/.).

3. Reducción de impacto ambiental (CO_2).

4. Inversión necesaria.

5. Período de recuperación.

6. Análisis de sensibilidad a los precios energéticos.

Para calcular el ahorro energético de la medida propuesta se deberá realizar, para las nuevas condiciones resultantes de la implantación de la medida, los nuevos balances de materia y energía, calculándose el nuevo consumo energético del equipo o sistema energético. Este debe compararse con el de la situación actual de la fábrica, obteniendo de este modo el ahorro potencial de la medida.

Con la inversión requerida y el ahorro económico obtenido, se calcula el período de amortización de dicha medida. Con estos valores, el auditor puede establecer un plan de implementación de las medidas, dónde, por ejemplo, con el ahorro económico de las medidas que se implanten se consiga llevar a cabo la inversión en otras medidas.

Es interesante hacer notar que, en muchas industrias, la capacidad de producción es variable, teniendo en cuenta que los ahorros que se logren dependerán en gran medida del nivel de producción sobre el que se realizasen los balances de materia y energía, por ello es conveniente acordar con el personal de la industria, la producción de referencia que se empleará en los análisis, de forma que los resultados que se obtengan de la auditoria sean representativos del proceso industrial.

2.7.5 Informe final de la auditoria

Una auditoría energética debe concluir con un informe exhaustivo y concreto en el que se expongan cada uno de los pasos realizados en el proceso de la auditoría. Se pondrá especial énfasis en describir claramente los siguientes aspectos:

1. Descripción de la fábrica

2. Estructura energética

3. Toma de datos

4. Análisis de eficiencias

5. Medidas de ahorro

6. Evaluación económica

7. Plan de implantación de medidas.

8. Anexos.

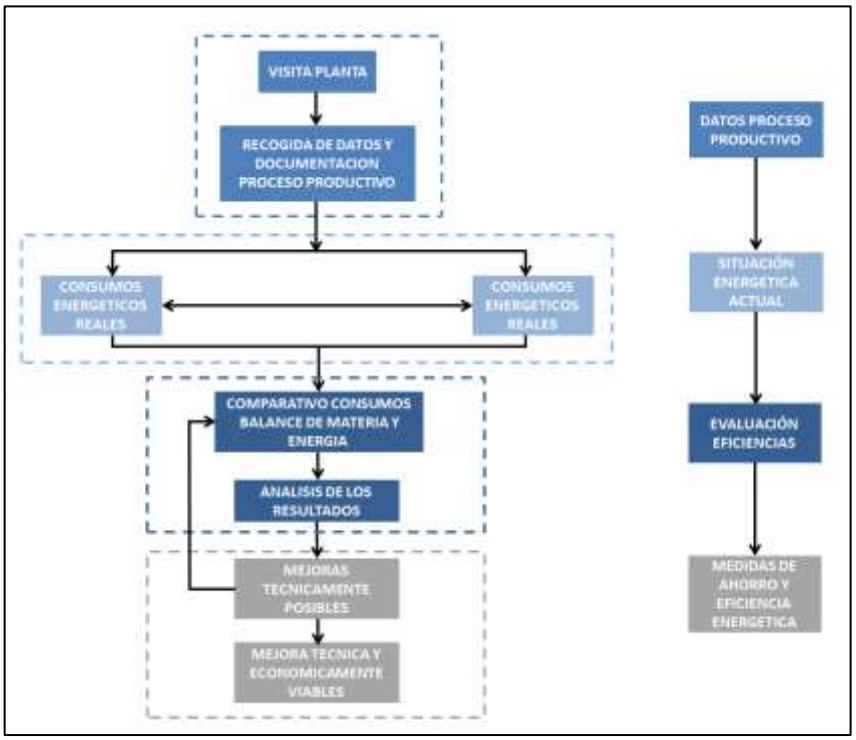


Figura 2.13 *Esquema de procedimiento de una auditoria energética*
(*Metodología para la Auditorías Energéticas – IDAE 2011)*

2.8 Introducción a sistemas de gestión de energía

Lo más importante para lograr la eficiencia energética en una empresa u organización no es sólo que exista un plan de ahorro de energía, derivado de un estudio o diagnóstico, sino contar con un sistema de gestión energética que garantice la mejora continua.

Un Sistema de Gestión de Energía (SGEn) es una parte del Sistema Integrado de Gestión de una organización, que se ocupa de desarrollar e implementar una política energética y de organizar los aspectos energéticos. Un SGEn se define como conjunto de elementos de una organización, interrelacionados o que interactúan, para establecer una política, unos objetivos energéticos y para alcanzar dicho objetivos [4].

[4] *UNE - EN 16.001:2009.*

Un SGEn está directamente vinculado al sistema de gestión de la calidad y al sistema de gestión ambiental de una organización, en el SGEn se contempla la política de la entidad sobre el uso de la energía, y cómo van a ser gestionadas las actividades, productos y servicios que interactúan con este uso, normalmente bajo un enfoque de sostenibilidad y eficiencia energética ya que el sistema permite realizar mejoras sistemáticas del desempeño energético.

Es importante destacar que un SGE no está orientado necesariamente a grandes empresas, sino que puede ser adoptado por cualquier tipo de organización, independientemente de su sector de actividad o tamaño.

La implementación de un SGE es voluntaria y su nivel de éxito depende fundamentalmente del nivel de implicación de la propia organización, y en especial de la dirección, para gestionar el consumo y costos energéticos.

Hay que tener en cuenta que un SGE no está orientado tanto al cumplimiento de la normativa, sino más bien a la mejora de los procesos y de las instalaciones para aumentar la eficiencia energética y reducir los consumos, haciendo un uso más racional de la energía.

Por tanto, un SGE está destinado a cualquier organización que básicamente desee:

- Mejorar la eficiencia energética de sus procesos de una forma sistemática.
- Incrementar el aprovechamiento de energías renovables o excedentes.
- Asegurar la conformidad de los procesos con la política energética de la organización.

Un correcto Sistema de Gestión Energética se compone principalmente de:

- Una estructura organizacional.
- Procedimientos establecidos

- Procesos definidos.
- Recursos necesarios para su implementación.

Un SGEn, independientemente de si se certifica o no, siempre es beneficioso para la organización que lo define e implementa ya que:

- Permite identificar y priorizar los aspectos energéticos de la organización.
- Evalúa el cumplimiento de todos los requisitos legales relativos a sus aspectos energéticos.
- Establece objetivos de mejora de la eficiencia y optimización energética.
- Establece procedimientos eficaces de control y seguimiento de los procesos energéticos.
- Implica a todo el personal con la gestión energética.
- Constituye una herramienta eficaz para realizar el seguimiento de actuaciones procedentes de auditorías energéticas.

Un SGE se basa en el siguiente ciclo básico:

- Establecer la política energética de la entidad a través de la mejora continua mediante:
- Planificación: ¿qué vamos a hacer y en qué plazo?
- Implementación de medidas: hagámoslo.
- Verificación: examen para comprobar si funcionan las medidas.
- Revisión: de los resultados se decide qué incluir nuevamente en planificación.

2.8.1 ISO 50001

Esta sección tiene por objeto dar una introducción básica acerca del ISO 50001 Sistema Gestión de la Energía (SGEn), indicando y definiendo los pasos y requisitos[5] para su aplicación.

[5] *UL DQS Inc. 2011, Implementing ISO 50001, Energy Management Standard / p.17. (VEASE ANEXO L)*

La ISO 50001:2011 aprobada en junio del 2011, es un estándar que especifica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de energía (SGEn), cuyo propósito es permitir a una organización seguir un enfoque sistemático para lograr la mejora continua de la eficiencia energética incluyendo el uso, consumo y eficiencia de la energía, se aplica a todas las variables que afectan el rendimiento de la energía, y que pueden ser monitoreados e influenciados por la organización.

La norma ISO 50001 SGEn ha sido diseñada para ser utilizada de forma independiente, pero también puede integrado con otros sistemas de gestión, y es aplicable a cualquier tipo de organización que desea verificar o demostrar su política energética, tal conformidad puede ser por una auto-evaluación y auto-declaración de conformidad o mediante la certificación del sistema de gestión de la energía por una organización externa certificadora.

Figura. 2.14 *Modelo de sistema de gestión de la energía* (*ISO/FDIS 50001*)

El modelo de la ISO 50001 SGEn, está basado en el mismo concepto que otras normas ISO, es decir en el ciclo de Deming (planear, hacer, verificar y actuar). Las consideraciones para su implementación son:

2.8.1.1 Comprometerse a la mejora continua

El éxito del SGEn se basa en evaluar periódicamente el desempeño de energía y la implementación continua de medidas para aumentar la eficiencia energética.

No importa el tamaño o el tipo de organización, el elemento común de la gestión de la energía con el éxito es el compromiso. La organización debe comprometerse para asignar el personal y los recursos para lograr la mejora continua. Para establecer un programa de energía, se debe formar un equipo de energía dedicado a instituir la política energética.

2.8.1.2 Formar un equipo dedicado

Las características del equipo se muestran en la **Tabla 2.6**.

Tabla 2.6 *Características del equipo de SGEn*

Ítem	Equipo de SGEn
a	Nombrar a un director de energía, el cual establecerá metas, rastreara el progreso y promoverá el programa de la gestión de la energía.
b	Establecer un equipo de energía, el equipo ejecutara las actividades de gestión de energía a través de diferentes partes de la organización y asegurara la integración de las mejoras prácticas.
c	Facultar al personal para cumplir los fundamentos, el empuje fuerte para la eficiencia energética de todas las partes de la empresa.

2.8.1.3 Evaluar el desempeño

La evaluación del desempeño es el proceso periódico de evaluar el uso de energía en todas las instalaciones y funciones en la organización y estableciendo una línea de base para medir los resultados futuros de los esfuerzos de eficiencia, por ello los aspectos claves se muestran en la **Tabla 2.7**.

Tabla 2.7 *Aspectos de la evaluación del desempeño*

Ítem	Aspectos de la evaluación del desempeño
a	Recogida y gestión de datos, Recoger datos de información de uso de la energía en el tiempo.
b	Línea de base y Benchmarking. Se establece el punto de partida desde el cual se medirá el progreso y comparar el desempeño energético.
c	Análisis y evaluación, entender los patrones y tendencias en el uso de la energía.
d	Las evaluaciones técnicas y auditorías, evaluación del rendimiento operativo de los equipos, sistemas de las instalaciones para determinar el mejor potencial.

2.8.1.4 Establecer metas

Las metas de desempeño manejan las actividades de la gestión de energía y promueven las mejoras continuas. El establecimiento de objetivos claros y medibles es fundamental para entender los resultados previstos, el desarrollo eficaz de estrategias propuestas así como las ganancias financieras. Buenos objetivos guían la toma de decisiones a diario y son la base para el seguimiento y las mediciones del progreso. Comunicando y publicando los objetivos se puede motivar al personal para apoyar los esfuerzos de la gestión de energía en toda la organización.

El desarrollo de las metas está a cargo del director de energía en conjunto con el equipo de Energía, para establecer las metas se debe tener en consideración los aspectos indicados en la **Tabla 2.8**.

Tabla 2.8 *Aspectos de las metas de desempeño*

Ítem	Metas de desempeño
a	Determinar el alcance, la organización identificara los parámetros de tiempo para las metas establecidas.
b	Estimar el potencial de mejora, revisión de las líneas de base, puntos de referencia para determinar el potencial y el orden de actualización así como las evaluaciones técnicas y auditorías.
c	Establecer objetivos, crear y expresar metas medibles con plazos establecidos por la organización.

2.8.1.5 Crear plan de acción

Con las metas establecidas, la organización desarrollara un plan de trabajo para mejorar el desempeño energético, utilizando un plan de acción detallado para garantizar un proceso sistemático para implementar medidas del desempeño energético. A diferencia de la política energética, el plan de acción se actualiza con regularidad, lo más a menudo en forma anual, para reflejar los logros recientes, cambios en el rendimiento, y los cambios de prioridades.

Los pasos a continuación describen un punto básico de partida para la creación de un plan acción como se muestra en la **Tabla 2.9**.

Tabla 2.9 *Aspectos básicos del plan de acción*

Ítem	Plan de acción
a	Definir los objetivos y procedimientos técnicos.
b	Determinar las funciones y recursos, el equipo de energía comunicara el plan de acción a todas las áreas involucradas por el plan de acción.

2.8.1.6 Implementar el plan de acción

La implementación de un plan de acción exitosa en la organización debe contar con el apoyo y la cooperación de las personas involucradas en los diferentes niveles dentro de la organización.

El logro de las metas depende con frecuencia de la conciencia, el compromiso, y la capacidad de las personas que van a poner en práctica los establecido. Para poner en práctica el plan de acción, considere tomar las siguientes medidas descritas en la **Tabla 2.10**.

Tabla 2.10 *Medidas para el plan de acción*

Ítem	Medidas para el plan de acción
a	Crear un plan de comunicación, información dirigida a las audiencias claves sobre el programa de gestión de energía.
b	Sensibilizar, generar el apoyo en todos los niveles de la organización en las iniciativas y metas del SGEn.
c	Crear capacidad, a través del acceso a la información y la transferencia de prácticas, procedimientos y tecnologías que pueden ampliar la capacidad del personal.
d	Motivar, crear incentivos que alientan al personal para mejorar el desempeño energético para lograr las metas.
e	Seguir y monitorear, Usando el sistema de seguimiento desarrollado en el marco del plan de acción para hacer un seguimiento y monitorear el progreso con regularidad.

2.8.1.7 Evaluar el progreso

La evaluación del progreso incluye la revisión formal de los datos sobre el uso de energía y las actividades llevadas a cabo en el marco del plan de acción, en comparación con el rendimiento de las metas. Resultados de la evaluación y la información recopilada durante el proceso de revisión formal es utilizado por la organización para crear nuevos planes de acción, identificar las mejores prácticas y establecer nuevas metas. Los pasos que claves incluyen lo indicado en la **Tabla 2.11**.

Tabla 2.11 *Evaluación del progreso*

Ítem	Evaluación del progreso
a	Medir los resultados, comparar el desempeño con las metas establecidas.
b	Revisión del plan de acción, entender lo que funcionó y lo que no lo hizo con el fin de identificar las mejores prácticas.

2.8.1.8 Reconocer los logros

Proporcionar y buscar el reconocimiento de resultados del sistema de gestión de la energía es un paso probado para mantener el impulso y el apoyo al programa.

Brindar reconocimiento a los que ayudaron a la organización a lograr estos resultados motiva al personal y a los empleados y trae la exposición positiva al programa de gestión de la energía. Recibir el reconocimiento de fuentes externas válida la importancia del programa del sistema de gestión de la energía a las partes interesadas, tanto internas como externas, y ofrece la exposición positiva para la organización en su conjunto. Los pasos clave en la prestación y la obtención de reconocimiento incluyen en la **Tabla 2.12**.

Tabla 2.12 *Reconocimiento de logros*

Ítem	Reconocimiento de logros
a	Proporcionar reconocimiento interno: a los individuos, los equipos e instalaciones dentro de la organización.
b	Recibir el reconocimiento externo: desde agencias gubernamentales, medios de comunicación y otras organizaciones de terceros que reconocen los logros.
c	También los socios deben promover los logros notables a nivel interno como externo a través de boletines de noticias y medios de comunicación locales.

CAPITULO III

INDUSTRIA DEL PETROLEO

En el mundo el uso de la energía se debe principalmente al petróleo, el gas y derivados, en estado gaseoso o líquido, ya que contribuyen con el 60% de la energía utilizada en los sectores transporte, industria, comercio y residencial, las otras fuentes de energía en uso son la nuclear y la hidráulica, seguida por las energías renovables como la eólica, solar, geotérmica, biomasa, etc., comprendidas en menor proporción y que aún son de aplicación muy restringida y suele clasificarse como “limpias”, sin embargo, con el tiempo las fuentes renovables deberán ir gradualmente complementando y reemplazando a los hidrocarburos gaseosos, líquidos y sólidos como generadores de energía.

3.1 Energía en la industria

3.1.1 Energía primaria

La energía primaria es la que procede de fuentes naturales que pueden ser utilizadas directamente, como es el caso del carbón, petróleo bruto, gas natural, energía hidráulica, nuclear y las llamadas energías renovables ó nuevas energías, que engloban la solar, eólica (viento), biomasa (residuos), geotérmica (calor del subsuelo), etc. La energía hidráulica es también renovable aunque habitualmente sólo se incluyen en este grupo los pequeños aprovechamientos (menos de 5MW de potencia instalada), la **Figura 3.1**, se muestra el porcentaje de consumo energía primaria en el mundo al año 2003.

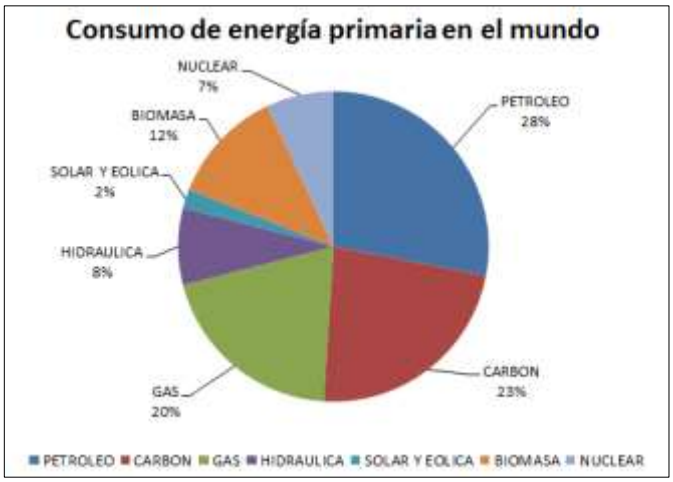


Figura 3.1 *Consumo de energía primaria en el mundo* (*World Energy Council 2003*)

3.1.2 Energía secundaria

Son las obtenidas a partir de la transformación de fuentes naturales, son muy numerosas y se agrupan asociándolas a las fuentes de que proceden, la utilidad final puede deberse al contenido energético del producto, siendo las principales:

Tabla 3.1 *Transformación de fuentes naturales*

N°	Tipo	Uso directo	Productos de transformación
1	Carbón	Hulla térmica, hulla siderúrgica; antracita; lignito negro, lignito pardo.	Coque siderúrgico; gas de coquería; gas de horno alto; alquitranes, breas, otros productos químicos.
2	Petróleo	Es muy raro, crudos muy pesados que se emplean directamente como un fuel oil. En ocasiones Gases Licuados de Petróleo (Butano y Propano) que pueden aprovecharse directamente	GLP; gasolinas, naftas para la industria petroquímica, lubricantes, asfaltos; parafinas; disolventes y otros productos químicos.
3	Gas natural	Gas natural	El gas natural sólo se transforma como fuente de obtener Hidrógeno, que es una materia prima de la industria de fertilizantes y otras.

3.1.2.1 Hidráulica y Nuclear

Se emplea en la generación de energía eléctrica, la primera como aprovechamiento directo en los embalses hidroeléctricos y la segunda mediante la transformación en electricidad de la energía derivada de la fisión del uranio.

3.1.2.2 Energías renovables

Tiene un aprovechamiento térmico directo de la energía solar, la biomasa y la geotérmica para la generación de electricidad.

3.2 Introducción al sector del petróleo

El petróleo es el commodity[6] de mayor comercio en los mercados del mundo actualmente, por ellos su importancia, la producción mundial de petróleo está a cargo de las compañías conocidas como "petroleras", estas compañías agrupadas en diferentes categorías, principalmente en estatales y privadas, en las compañías estatales (la accionista controlante es el gobierno del país en que se encuentran, y representan el 80% de las reservas de petróleo y gas del mundo). Por ejemplo: Petróleos de Venezuela (PDVSA), PEMEX de México, STATOIL de Noruega, ARAMCO de Arabia Saudita, etc.

La industria petróleo se desarrolla en dos fases conocidas como:

3.2.0.1 Up Stream

Llamado también corriente o aguas arriba, conformado por las primeras actividades de la industria del petróleo: exploración y explotación.

---

[6] *Commodity: Termino en inglés para referirse a la mercancía, producto destinado a uso comercial.*

a. Exploración, es la búsqueda de yacimientos de petróleo y gas y comprende todos aquellos métodos destinados a detectar yacimientos que son comercialmente explotables, incluye el reconocimiento superficial del terreno, la prospección (sísmica, magnética y gravimétrica), la perforación de pozos de exploración y el análisis de la información obtenida.

b. Explotación, es la operación (producción) que consiste en la extracción de petróleo y/o gas de un yacimiento.

3.2.0.2 Down Stream

Llamado también corriente o aguas abajo, comprende las actividades petroleras de industrialización: transporte, refinación, distribución y utilización.

a. Transporte. El transporte de petróleo es el traslado de la materia prima desde los yacimientos hasta la refinería donde finalmente será procesada para obtener los productos derivados a través de los oleoductos y los buques-tanques para el transporte de grandes volúmenes y a largas distancias.

b. Refinación. Procesos de separación que divide el crudo en las distintas fracciones de acuerdo con las necesidades del mercado (gasolinas, gasóleo, asfalto, etc.) mediante destilación fraccionada o fraccionamiento del crudo.

c. Distribución y utilización. La distribución, propiamente dicha consiste en llegar a los principales centros distribuidores o estaciones de servicio, y el consumo cuando los subproductos llegan hasta los centros de consumo para ser utilizados.

3.2.1 Petróleo

El petróleo es la composición fundamentalmente de hidrocarburos gaseosos, líquidos y sólidos, estando estos últimos disueltos o suspendidos en los líquidos, además se encuentran

otras sustancias consideradas impurezas como compuestos de azufre, oxigeno, nitrógeno, y trazas de metales. El petróleo crudo se presenta en la naturaleza como un líquido móvil, pudiendo llegar hasta tener un aspecto de una material semisólido de color negro.

3.3 Refinería de petróleo

Es conocido que el petróleo crudo no puede ser usado directamente en el estado que se obtiene de la explotación, salvo algunas ocasiones como combustible primario, razón por la que el petróleo luego de ser extraído del subsuelo debe ser procesado en las refinerías de petróleo.

Las refinerías de petróleo son instalaciones industriales cuyo trabajo consiste, en separar físicamente y en algunos casos someter a procesos químicos a determinados componentes que contiene el petróleo crudo. El proceso consta de varias etapas, por lo que es común que cuente con numerosos componentes como, torres, tuberías, tanques, equipos, etc., como se muestra en la **Figura 3.2**.

Figura 3.2 *Refinería Talara* (*Petróleos del Perú - Petroperú S.A.*)

Cada refinería posee un esquema de procesamiento particular, acorde a su tecnología y capacidad, así como el nivel de complejidad de una instalación determina el grado de aprovechamiento que se logra para obtener cada barril de petróleo.

Un país debe contar con las refinerías necesarias y contar con la capacidad de producción suficiente para abastecer la demanda del país, el Perú cuenta con 6 refinerías de petróleo y cada una cuenta con una capacidad especifica de producción como se indica en la **Tabla 3.2**.

Tabla 3.2 *Capacidad de producción de refinerías de petróleo* (*MINEM - Atlas Hidrocarburos 2001*).

EMPRESA	PLANTA	CAPACIDAD INSTALADA (BPD)	PRODUCCION (PORCENTAJE)
PETROPERU S.A.	Talara	65,000	31
	Conchán	15,500	7
	Iquitos	12,000	6
	El Milagro	2,000	1
REPSOL - YPF	La Pampilla	110,000	53
MAPLE	Pucallpa	3,300	2

El proceso, llamado también refino de petróleo, se lleva a cabo en instalaciones específicas diseñadas para obtener el máximo rendimiento en cada una de ellas, denominadas unidades, las principales instalaciones previstas en el diseño de una refinería de petróleo se presentan a continuación agrupadas a su función en la refinería y son principalmente:

a. Unidades de proceso.

b. Servicios auxiliares

c. Corrección de incidencias ambientales.

3.4 Planta de procesos

La planta de procesos se encarga de los principales pasos para la destilación del petróleo, llamado también refino de petróleo, en derivados como gasolinas, naftas, gasóleos, asfaltos,

etc., está conformado por diferentes elementos como las unidades de destilación, los hornos, calderas, strippers, drums, etc.

3.4.1 Unidad de destilación atmosférica

Destilación atmosférica o primario en el cual se obtienen los productos derivados del crudo de petróleo, consiste en la separación de la mezcla de hidrocarburos en componentes más específicos, mediante la aplicación de calor hasta lograr vaporizar cada componente, aprovechando que cada uno de ellos posee diferente punto de ebullición, generalmente se obtienen productos como gasolinas, naftas, keroseno, diésel y el residual, físicamente está conformado de una torre separada por diferentes platos y o secciones.

3.4.2 Unidad de destilación de vacío

Destilación al vacío, es un proceso intermedio y consiste en utilizar el residuo atmosférico, previo incremento de calor por el horno; en la unidad de destilación de vacío se obtienen los productos derivados del residual atmosférico como gasóleos livianos, pesados y también el asfalto.

3.4.3 Proceso de refinación del petróleo

Se explicara de forma breve y sencilla el proceso de refinación de petróleo indicando los principales procesos como se muestra en la **Figura 3.3**.

El petróleo transportado desde los yacimientos por medio de buques se almacena en tanques de recepción de crudo, el proceso inicia con el impulso por medio de bombas del crudo de petróleo hacia a la desaladora donde se extraen las impurezas olefóbicas (aguas, sales y sedimentos) que afectan la calidad del proceso para luego pasar a la instalaciones de refinación propiamente dichas, pasando por los circuitos de precalentamiento (intercambiado de calor del

crudo con los productos refinados), el crudo precalentado ingresa primero al horno en la zona superior (convectiva) y luego pasa a la zona inferior (radiante) incrementando su temperatura, luego el crudo vaporizado ingresa a la torre de destilación atmosférica donde los componentes ligeros ascienden como vapores a la zona superior, de manera similar con los componentes pesados conforme descienden a las zonas inferiores de la columna.

Dentro de la columna se tienen posiciones específicas de platos para lograr los fraccionamientos deseados según la capacidad de cada refinería, los productos obtenidos pasan a unos strippers o acumuladores donde alguno de ellos pasara por otro tipos de procesos químicos en unidades drums, después serán impulsados por el sistema de bombeo hacia los tanques de almacenamiento para su posterior venta y consumo.

los principales productos obtenidos de la destilación primaria son:

a. Hidrocarburos ligeros. Son mezclas de propano y butano comprimido y licuado, usadas en procesos industriales y también para uso doméstico.

b. Gasolina. Es un hidrocarburo líquido, en forma comercial mezclada con aditivos para usarse como combustible en el sector automotriz.

c. Nafta. Es un derivado del petróleo extraído por destilación directa y utilizado principalmente como materia prima en la industria petroquímica y química para obtención de fracciones liquidas como benceno, tolueno y xilenos así también para la producción de gasolina de alto octanaje.

d. Keroseno. Hidrocarburo derivado del petróleo, es un líquido oleaginoso inflamable, de color variado, incoloro, amarillento o rojo, se usa como combustible, como disolvente y también para la elaboración y producción de polímeros.

El residuo atmosférico, llamado también crudo reducido el cual se obtiene del fondo de la columna de destilación atmosférica, es impulsado por unas bombas hacia otros circuitos de precalentamiento (intercambio de calor de residuos con productos refinados) para luego pasar al segundo horno para incrementar su temperatura, al igual al caso anterior, el residuo atmosférico calentado ingresa a la columna de destilación de vacío donde se obtienen productos ligeros y pesados, los productos básicos obtenidos de la destilación de vacío son:

e. Gasóleo liviano (GOL). Producto obtenido de la destilación de vacío, que se utiliza como componente del combustible para los motores diésel.

f. Gasóleo pesado (GOP). Producto de la destilación de vacío, se utiliza como materia prima para la desintegración catalítica y mezclas con otros productos para obtener combustóleo.

g. Asfalto. Es un material de cementación solido o semisólido de color oscuro, se encuentra presente en la mayoría de los petróleos crudos, se puede tratar para obtener numerosos tipos y grados de asfalto utilizado en la pavimentación de carreteras, calles, etc.

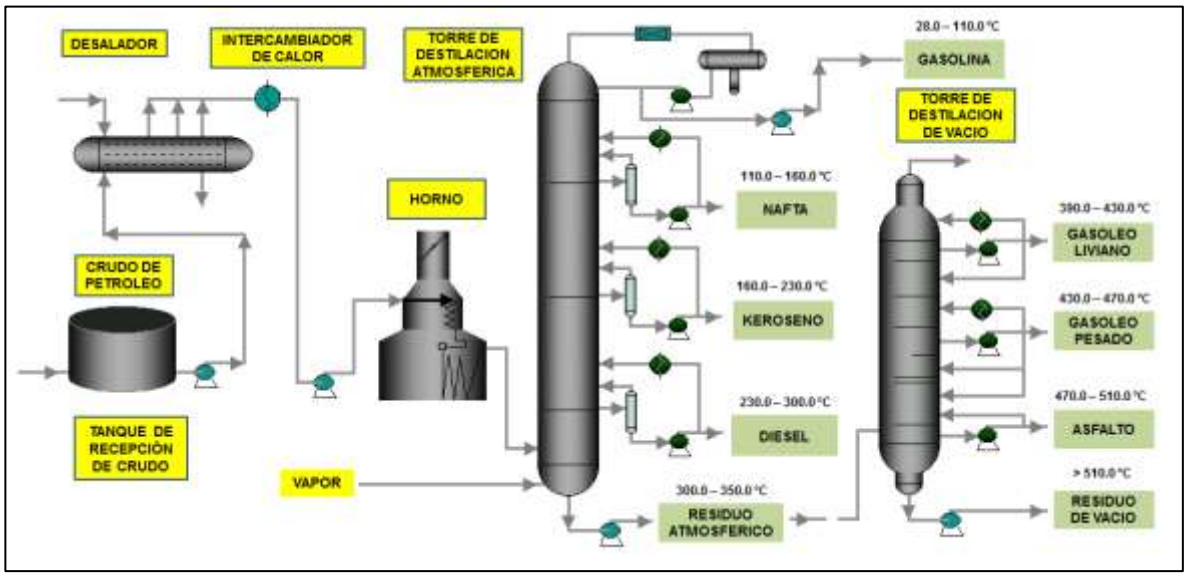


Figura 3.3 *Esquema básico del proceso de refinación del petróleo*

3.5 Clasificación de áreas peligrosas

En una instalación del tipo industrial, en especial las refinerías de petróleo, debe identificarse la clasificación de áreas, ya que está determina las especificaciones técnicas de materiales y equipos que se pueden utilizar con carácter temporal o permanente en dicha instalación según la normativa vigente, para clasificarse las áreas peligrosas deben delimitarse las posibles fuentes de peligro que resultan prácticamente imposible evitar en forma absoluta durante la operación o trabajos de mantenimiento.

3.5.1 Área peligrosa

Es un espacio en el que una atmosfera explosiva está, o puede estar presente por lo que se requiere precauciones especiales en la construcción, instalación y utilización de equipos eléctricos. Se consideran también áreas peligrosas a instalaciones en donde se manejen, almacenen o procesen hidrocarburos y sus derivados, así como vapores y gases de esos productos que mezclados con el aire del ambiente produzcan mezclas explosivas.

Se clasifica las áreas en las que existen peligros de explosión de la siguiente manera:

Clase I

La primera clase determina la peligrosidad de las áreas de las industrias petroquímicas, las áreas de la Clase I son aquellas en las cuales están o pueden estar presentes líquidos, vapores y gases inflamables, se subdivide en:

División 1. Aquellas áreas en las cuales exista en forma continua, periódica o intermitente en condiciones normales de funcionamiento, concentraciones peligrosas de líquidos, gases o vapores inflamables.

División 2. Aquellas áreas en las cuales se manejen, o empleen líquidos o gases inflamables en recipientes o sistemas cerrados, pero en los cuales dichos líquidos o gases pueden escapar solamente en caso de una ruptura accidental o en caso de funcionamiento anormal del equipo.

Clase II

Las áreas clasificadas como clase II son peligrosas debido a la presencia de polvos combustibles o eléctricamente conductivos, esta clase presenta dos subdivisiones:

División 1. Aquellas áreas en las cuales existan en forma continua, periódica o intermitente en condiciones normales de funcionamiento, polvo combustible en suspensión en el aire, en cantidades suficientes para producir mezclas inflamables o explosivas.

División 2. Aquellas áreas en las cuales normalmente el polvo combustible no está en suspensión en el aire, pero que en caso de falla o de funcionamiento anormal del equipo, se puedan tener cantidades suficientes para producir mezclas explosivas.

Clase III

Son aquellas áreas peligrosas debido a la presencia de fibras o pelusas volátiles inflamables, pero en los cuales no es probable que dichas fibras o pelusa se encuentren en suspensión en el aire, en cantidades suficientes para producir el encendido de la mezcla comprende las siguientes divisiones.

División 1. Aquéllas en las cuales manipulen, fabriquen o empleen fibras fácilmente inflamables, o materiales que produzcan fibras volátiles combustibles.

División 2. Aquéllas áreas en las cuales se almacenan fibras fácilmente inflamables (Excepto en proceso de fabricación).

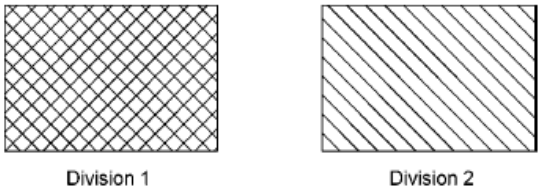


Figura 3.4 *Símbolos para denotar la Clase I, División 1 y División 2 áreas Peligrosos* (*API RP 500*)

Los grupos A, B, C y D, atmosferas que corresponden a lugares de Clase I, grupos E, F y G, atmosferas que corresponden a lugares de Clase II. Se menciona en la **Tabla 3.3**, las sustancias que pertenecen a cada grupo de atmosferas peligrosas pertenecientes a cada clase[7].

Tabla 3.3 *Descripción de sustancias que pertenecen a grupos de sustancias peligrosas*

Grupo	Descripción
Grupo A	Atmosferas que contienen acetileno.
Grupo B	Atmosferas que contienen gases o vapores derivados de hidrogeno.
Grupo C	Atmosferas que contienen éter etílico, etileno, etc.
Grupo D	Atmosferas que contienen acetona, amoniaco, benceno, gasolina, propano, gas natural, butano, etc.
Grupo E	Atmosferas que contienen polvos metálicos incluyendo aluminio, magnesio y sus aleaciones comerciales peligrosas.
Grupo F	Atmosferas que contienen carbón o polvo de coque.
Grupo G	Atmosferas que contienen harina, granos, madera plásticos y químicos.

[7] *ANSI/NFPA 70, National Electric Code, Articulo 500. Para áreas peligrosas, Clase I. grupo A, B, C o D.*

3.5.2 Equipos a prueba de explosión (Explosion Proof)

Un equipo a prueba de explosión es una máquina totalmente cerrado cuya carcasa está diseñada y construida para resistir una explosión de un gas o vapor, especificado que puede ocurrir dentro de ella y también de evitar la ignición del gas o vapor especificado que rodea la máquina por las chispas, destellos o explosiones del gas especificado o vapor que puede ocurrir dentro de la carcasa de la máquina**.**

3.5.2.1 Motores a prueba de explosión.

Son motores especiales que se usan en ambientes que contienen o puede contener materiales inflamables o explosivos, las normas exigen motores especialmente construidos para estas aplicaciones. Los motores a prueba de explosión son destinados a trabajar en ambientes clasificados como peligrosos por contener gases, vapores, partículas de fibras inflamables o explosivas.

Figura 3.5 *Motor a prueba de explosión (Weg NEMA Premium Efficiency)*

3.6 Seguridad industrial

Complementando la información descrita en este capítulo, se explicara un poco sobre la seguridad industrial, la cual son una serie de normas y conductas que debe tomar una empresa

para la conservación y prevención de posibles accidentes que pueden sufrir trabajadores y además eventualidades que puede sufrir la misma empresa según se menciona en la OHSAS 18001 Sistema de Gestión y seguridad en el trabajo, se definen algunos conceptos que se utilizaron para la realización de la presente tesis.

3.6.1 Inducción

La inducción es la capacitación del personal propio o terceros de una empresa sobre el proceso en el cual estará involucrado, así como información verbal y por escrito de los riesgos asociados al mismo y los medios para prevenirlos y protegerse, antes de incorporarse a la labor asignada a fin de desarrollar la habilidad y adquirir el conocimiento para una ejecución segura de la misma. El contenido del proceso de inducción generalmente brinda información sobre las políticas de la empresa, notificación de riesgos por puesto de trabajo e instalación, funciones del cargo a ocupar, responsabilidades, normas de la empresa, entre otros.

3.6.2 Permisos de trabajo

Los permisos de trabajo son documentos escritos por el cual se autoriza a desarrollar actividades como pueden ser inspección, mantenimiento, reparación, instalación o construcción, entre otros; en una determinada área de trabajo bajo condiciones de seguridad en un periodo de tiempo definido; y sin el cual no se pueden realizar los trabajos mencionados con el fin de evitar que un trabajador sufra lesiones graves y mortales, es muy importante y fundamental que conozcan en si el trabajo que se realizara, por ello existen los permisos para trabajos de alto riesgo que así lo requieran, los principales permisos de trabajo son:

a. Permiso de trabajo en altura. Permiso requerido para trabajos y /o actividades que se realicen a una altura mayor a 1.80 m sobre el nivel el piso, según la normativa vigente.

b. Permiso de trabajo en sistemas eléctricos. Permiso para labores que se realice en equipos eléctricos energizados.

c. Permiso de trabajo en caliente. Permiso para el trabajo de aquellas operaciones que generan fuentes de calor (chispas o llamas).

d. Permiso de trabajo en frio. Permiso para trabajos que se realizan a temperatura ambiente.

3.6.3 Equipo de protección personal (EPP)

Los equipos de protección personal (EPP) juegan un rol fundamental en el higiene y seguridad del operario, ya que los mismos se encargan de evitar el contacto directo con superficies, ambiente, y cualquier otro ente que pueda afectar negativamente su existencia, aparte de crear comodidad en el sitio de trabajos.

Los equipos de protección personal son los equipos que se utilizan para poder desarrollar una actividad con mayor seguridad, los principales equipos de protección personal son:

a. Casco de seguridad. Protege contra caídas de objetos, golpes en la cabeza, proyección violenta de objetos y contactos eléctricos.

b. Calzado de seguridad con plantilla y/o puntera reforzada evita golpes, cortes y pinchazos en los pies, soldadura y contactos eléctricos.

c. Guantes. Usado en la manipulación de materiales y herramientas para evitar golpes, heridas, cortes, de soldadura, aislantes para trabajos con electricidad, para evitar la corrosión de ácidos, de metal trenzado, de malla.

d. Lentes o pantallas faciales. Usado para proteger los ojos contra proyecciones o salpicaduras (soldadura).

e. Tapones, orejeras o cascos antirruido. Protección de los oídos, en operaciones que generan un nivel de ruido elevado.

f. Mascaras respiratorias. Usado donde haya riesgo de emanaciones nocivas tales como gases, polvo y humos, adaptando el filtro adecuado al contaminante existente.

g. Arneses En los trabajos en altura con peligro de caída, es obligatorio el uso de sistemas anticaídas (arnés de seguridad), amarrado a un elemento resistente, revisándose frecuentemente el elemento de amarre y el mosquetón. No se deberá iniciar el trabajo sin este requisito.

Figura 3.6 *Señales de uso obligatorio de EPP (Normas INDECI e INDECOPI)*

CAPITULO IV

DESCRIPCION DEL ESTADO SITUACIONAL DEL SISTEMA DE FUERZA DE UNA PLANTA DE PROCESOS

Las plantas industriales pueden dividirse en función de 6 categorías de equipos/procesos[8] principalmente, siendo estas:

1. Sistema de iluminación
2. HVAC (calefacción, ventilación y sistema de aire acondicionado)
3. Motores y accionamientos
4. Procesos (sin motores, como tratamientos de calor)
5. Equipos de distribución eléctrica
6. Revestimiento de ambientes de edificios

La **Figura 4.1**, muestra las principales distribuciones de consumidores de energía en una instalación industrial.

Figura 4.1 *Categoría de equipos en una planta industrial (F. Siemens)*

[8] *IEEE Std. 141-1993, Electrical conservation through energy management. Sección 14.3.3/ p. 645.*

En este capítulo se describirá los equipos que corresponden al punto 3, correspondientes principalmente al sistema de fuerza, que es fuente de estudio en esta tesis.

4.1 Sistema de fuerza

En una planta industrial, se denomina sistema de fuerza al conjunto de todos los equipos e instalaciones que tiene por objeto realizar un trabajo mecánico y/o de producción, siendo estos los principales dentro del proceso de producción de una empresa. Los sistemas de refrigeración y calefacción también forman parte del sistema de fuerza en una instalación.

El principal equipo eléctrico que puede realizar trabajo mecánico dentro del proceso de producción es el motor eléctrico, y en una refinería de petróleo el sistema de fuerza está compuesto principalmente por el sistema de bombeo.

4.1.1 Sistema de bombeo

El sistema de bombeo está conformado por lo equipos rotativos, bombas y motores principalmente, utilizados en una instalación para la circulación, elevación y distribución de un fluido; crudo y productos destilados, en una refinería de petróleo.

Figura 4.2 *Patio de bombas de una planta de procesos (Sistema de fuerza)*

En las siguientes secciones se describe sus principales componentes así como los factores básicos que influyen en su operación.

4.1.2 Bomba centrifuga

Una bomba es una máquina que transforma energía mecánica, entregada por el motor eléctrico, en energía hidráulica, a un fluido para que éste presente una mayor presión a la salida de la misma y pueda ser transportado hasta un punto deseado.

En la industria del petróleo se trabaja con una gran variedad de líquidos con propiedades físicas y químicas diferentes, al igual que las condiciones de temperaturas y presión, por lo que se utilizan diferentes tipos de bombas dependiendo de las condiciones de servicio. Entre estos tipos de bombas se distinguen: las alternativas o de pistón, las rotativas o de engranajes y las centrífugas, siendo estas últimas las más utilizadas. Una bomba centrífuga está constituida, principalmente, por un rodete con álabes, que impulsan al líquido, alojado en una carcasa. El rodete o impulsor está fijado a un eje que gira, mientras que la carcasa se mantiene fija.

En la **Figura 4.3** representa el esquema de una bomba acoplada a un motor eléctrico.

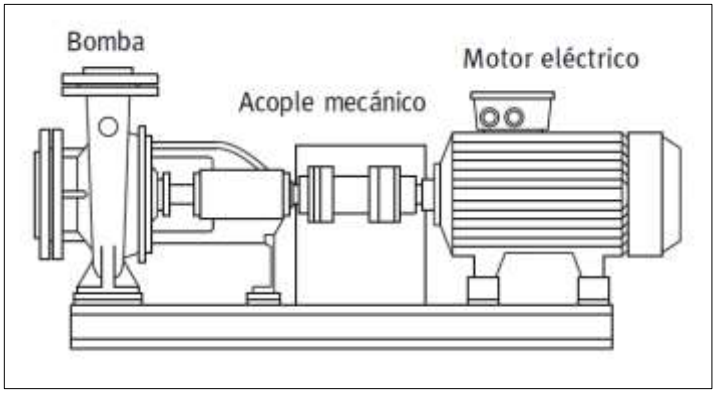


Figura 4.3 *Esquema de bomba centrifuga horizontal (Selección de equipos de transporte de fluido - IDAE)*

4.1.3 Curva característica de una bomba centrifuga

Las curvas características indican el comportamiento de las bombas en distintas condiciones de servicio y/u operación. El funcionamiento de una bomba centrífuga se representa por las curvas características, las cuales indican la altura dinámica total (**H**), la potencia al eje (**P**) y el rendimiento (**n**) en función del caudal (**Q**), para una velocidad de rotación del motor (**N**).

Los fabricantes de bombas dan estas curvas específicas para cada tipo de bomba. En la **Figura 4.4**, se muestra la forma que tienen las curvas mencionadas para una bomba centrifuga radial.

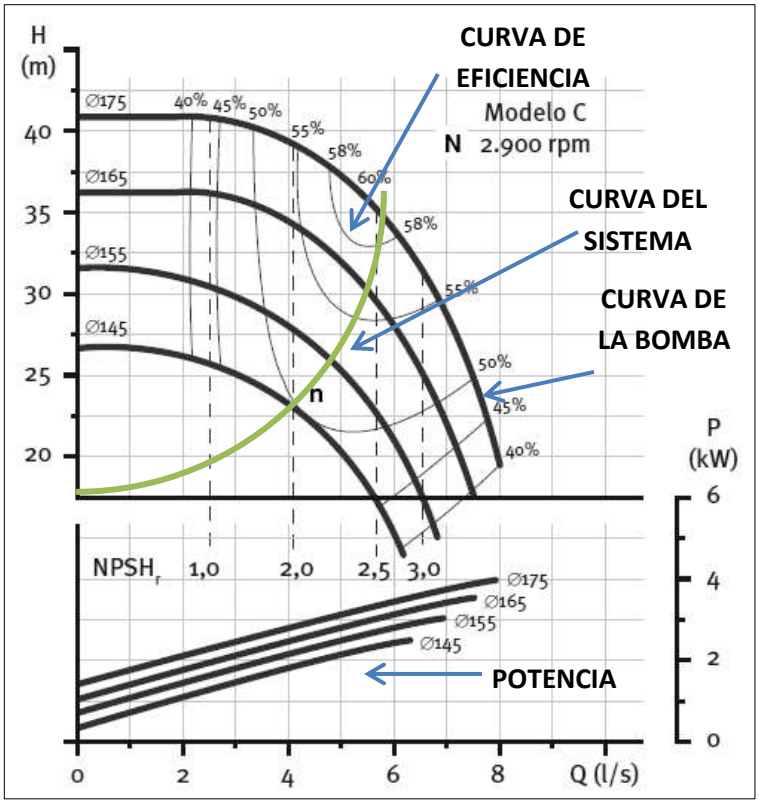


Figura 4.4 *Curva característica de una bomba centrifuga típica*
(Selección de equipos de transporte de fluido – IDAE 2012)

4.1.4 Parámetros de operación de una bomba centrifuga

Para la correcta operación de las bombas es necesario conocer las propiedades del fluido que se maneja o se manejará en cada bomba, ya que en función de las mismas se realizará la evaluación de la bomba.

Los parámetros principales en condiciones normales de operación utilizados en una refinería de petróleo son los siguientes:

4.1.4.1 Caudal

Cantidad de fluido por unidad de tiempo, en las refinerías se expresa principalmente en galones por minuto (GPM)

4.1.4.2 Altura dinámica total

Conformada por la altura estática o geodésica y las pérdidas de carga en la instalación expresada en metros o pies. En campo se obtienen a partir de las lecturas de los manómetros conectados a las líneas de succión o descarga de la bomba y se expresa generalmente en (PSI).

4.1.4.3 $NPSH_R$.

Altura neta positiva de succión requerida por la bomba, es la cantidad de presión necesaria para mover el líquido por la succión de la bomba. Se debe cumplir que el NPSH disponible debe ser mayor que el NPSH requerido.

4.1.4.4 Eficiencia.

Es la relación entre la potencia consumida por la bomba y la potencia hidráulica, expresada en porcentaje.

4.1.5 Balance de energía mecánica y operación de bombas

En una bomba, el trabajo entregado al fluido se emplea en aumentar la energía mecánica específica del fluido y en compensar las pérdidas por disipación viscosa en el interior y por la turbulencia en la salida.

Por otra parte, aunque el aumento de la energía específica puede ser en forma de presión, energía cinética o potencial, se suele emplear el término de altura manométrica para denominar a este incremento, midiéndolo en unidades de longitud y utilizando la constante de la gravedad. Se define la altura manométrica, (*Hm*) suministrada por la bomba como:

$$H_m = \frac{P_D - P_S}{\rho g} + (Z_D - Z_S) + \frac{V_D^2 - V_S^2}{2g} \qquad (4.1)$$

Dónde:

H_m : Altura manométrica (m)

P_D : Presión de descarga (Pa)

P_S : Presión de succión (Pa)

Z_D : Altura en la descarga (m)

Z_S : Altura en la succión (m)

V_D : Velocidad del fluido en la descarga (m/s)

V_S : Velocidad del fluido en la succión (m/s)

g : Gravedad (m/s2)

ρ : Densidad del fluido (kg/m3)

Para mayor ilustración de la ecuación 4.1 véase la **Figura 4.5**.

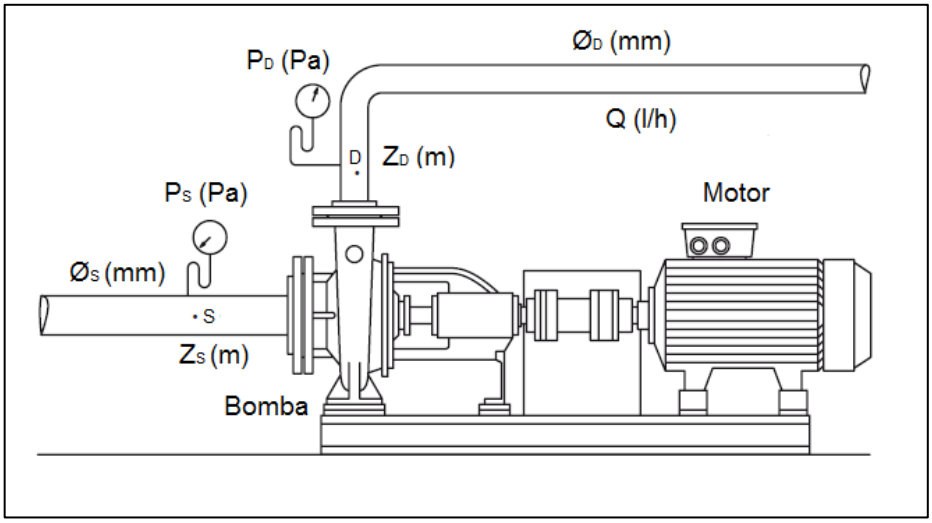


Figura 4.5 *Parámetros básicos de operación de una bomba centrifuga*

De la altura manométrica suministrada por la bomba generalmente el 98,3% se emplea en aumentar la energía de presión del fluido, el 1,4% en aumentar su energía potencial y un 0,3% en incrementar su energía cinética[9].

Para la mayoría de aplicaciones prácticas utilizadas en campo resulta suficiente suponer que la altura manométrica de la bomba se emplea en aumentar la presión del fluido, de la ecuación 4.1 se tendría que:

$$H_m = \frac{P_D - P_S}{\rho g} \tag{4.2}$$

Entonces la potencia hidráulica útil (P_H) que recibe el fluido estará dada por la ecuación 4.3:

$$P_H = \rho \; g \; Q \; H_m \tag{4.3}$$

Dónde:

P_H : Potencia Hidráulica (W)

Q : Caudal del fluido (m3/s)

[9] *Guía Técnica. IDAE. 2012, Selección de Equipos de Transporte de Fluidos Parte 2/ p. 11.*

Para la presente tesis la potencia hidráulica se calculara con la siguiente expresión:

$$P_H = \frac{Q\ H_m\ GE}{3960} \tag{4.4}$$

Dónde:

P_H : Potencia Hidráulica (HP)

GE : Gravedad Específica del fluido

H_m : Altura manométrica (pies)

Q : Caudal del fluido (GPM)

Además de la energía útil dada por la altura manométrica, la bomba suministra una parte de energía que pierde, para vencer las pérdidas de la bomba $\mathbf{n_B}$ (mecánicas, hidráulicas y volumétricas), por lo que puede definirse la potencia al eje o mecánica $\mathbf{P_m}$ que entrega el motor a la bomba como:

$$P_m = \frac{Q\ H_m GE}{3960\ n_B} \tag{4.5}$$

A continuación se muestra el diagrama de Sankey de energía de una bomba centrifuga:

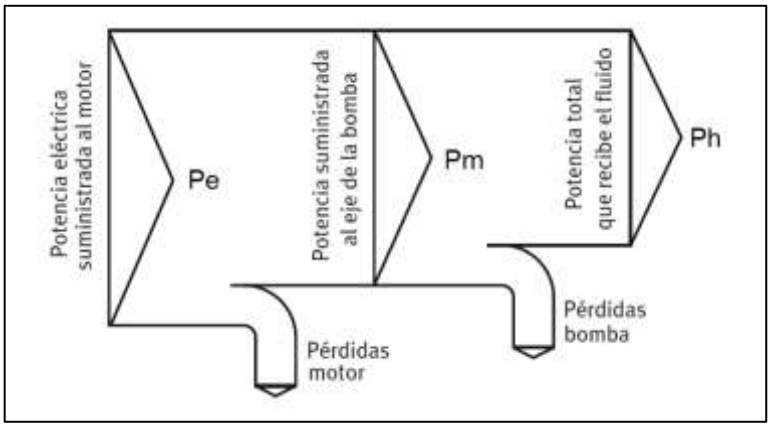
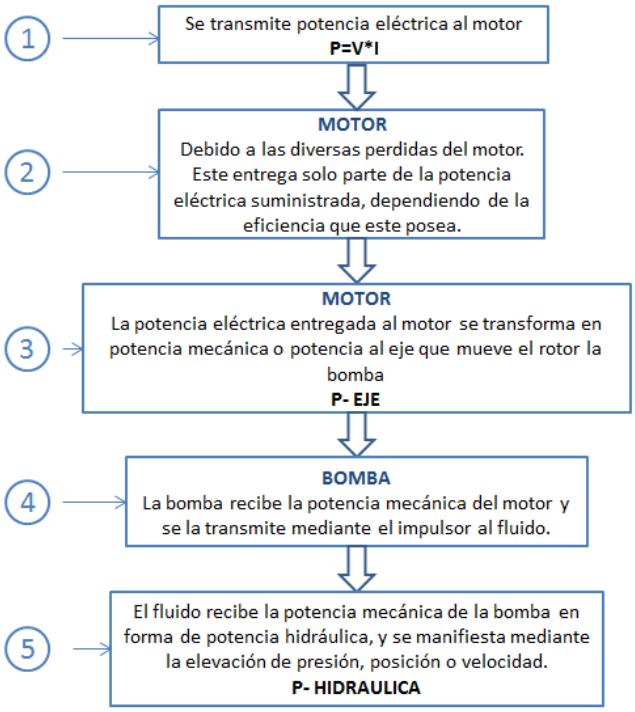


Figura 4.6 *Diagrama sankey de energía de una bomba centrifuga*
(Selección de equipos de transporte de fluido – IDAE 2012)

Descripción de la transferencia de energía en una bomba centrifuga, véase la **Tabla 4.1** y la **Figura 4.7**.

Tabla 4.1 *Descripción del funcionamiento básico de una bomba centrifuga*



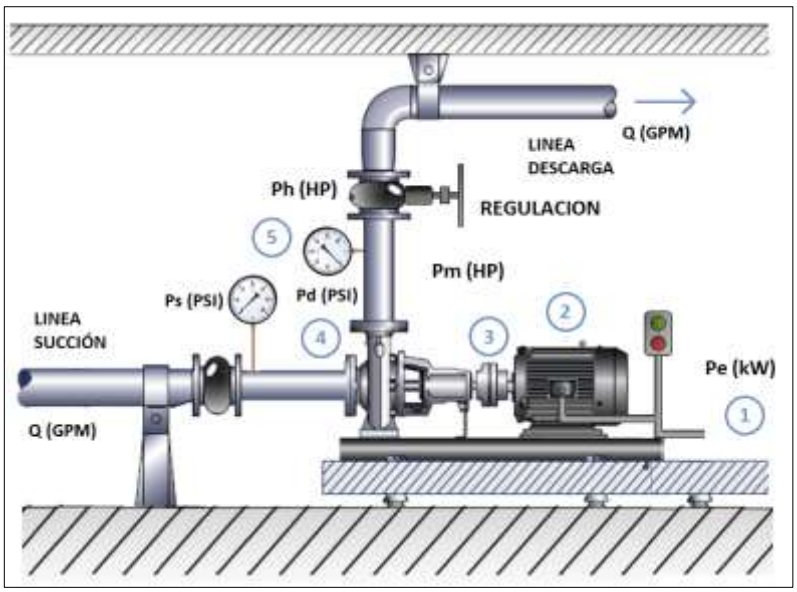


Figura 4.7 *Descripción del funcionamiento básico de una bomba centrifuga*

4.2 Subestación eléctrica

Una subestación eléctrica es el conjunto de instalaciones para la modificación de parámetros de tensión y corriente que recibe una instalación de una red de distribución primaria a una red de distribución secundaria para la transmisión y distribución de la energía eléctrica.

Comprende principalmente:

a. El transformador

b. Los equipos de maniobra

c. Protección

d. Medición y control, tanto en el lado primario como en el secundario, y eventualmente edificaciones para albergarlos.

La **Figura 4.8** muestra los principales componentes descritos en una sub estación de media tensión.

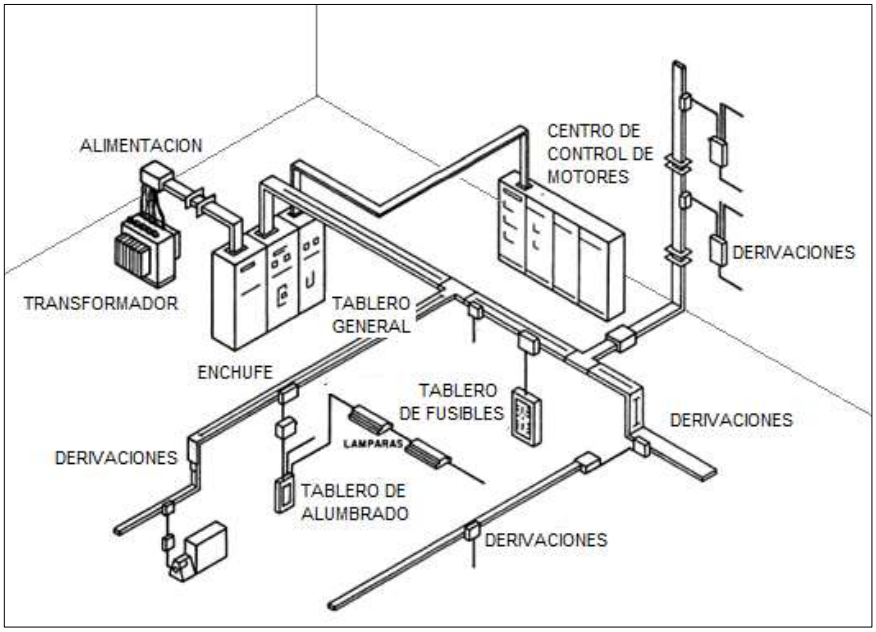


Figura 4.8 *Esquema básico de una subestación eléctrica (ABC Instalaciones Eléctricas Industriales)*

4.2.1 Tablero de distribución

Los tableros de distribución, también son conocidos como centros de carga, son la parte principal de la instalación eléctrica donde se conecta la línea eléctrica principal y de él se derivan los circuitos secundarios, consisten en componentes de seguridad y mecanismos de maniobra en dicha instalación eléctrica, conformado por interruptores automáticos, fusibles, protecciones, termomagnéticos y diferenciales principalmente.

4.2.1.1 Interruptor termomagnético

Interruptores diseñados para abrir el circuito en forma automático cuando ocurre una sobrecarga accionado por una combinación de un elemento térmico y un elemento magnético.

4.2.2 Centro de control de motores (CCM)

Un centro de control de motores (CCM) es esencialmente un tablero que se usa en primer término para alimentar, controlar y proteger circuitos cuya carga esencialmente consiste en motores eléctricos y que usa contactores y/o arrancadores como principales componentes. El número de secciones en un centro de control de motores depende del espacio para cada uno de sus componentes.

El centro de control de motores permite centralizar el equipo en un lugar apropiado y alejados de lugares peligrosos, como refinerías de petróleo.

El centro de control de motores debe tener en consideración los siguientes datos así como la lista de motores que están contenidos en el CCM, indicando para cada motor la siguiente información principalmente:

Potencia (kW o HP)
Tensión de servicio (V)
Corriente nominal a plena carga (A)
Tipo de arranque, véase el punto 4.3

Además de contar con un diagrama unifilar simplificado de las conexiones de los motores indicando la información principal referente a cada uno. Las especificaciones principales para un centro de control de motores son:

4.2.2.1 Características

Forma de gabinete, tipo auto soportado muerto para montaje en piso con puertas al frente para permitir el acceso al equipo.

4.2.2.2 Barras de conexión

Cada CCM tiene barras alimentadoras, normalmente de cobre electrolítico, ubicadas en la parte superior y las conexiones en la parte inferior.

4.2.2.3 Arrancadores

Los arrancadores son del tipo magnético, con control remoto y/o local por medio de botones (botoneras) y elementos térmicos para protección de los motores.

4.2.2.4 Interruptores

Son del tipo termomagnético con operación manual y disparo automático, puede ser accionados exteriormente por medio de palancas, normalmente se instala para cada motor una combinación de interruptor y arrancador.

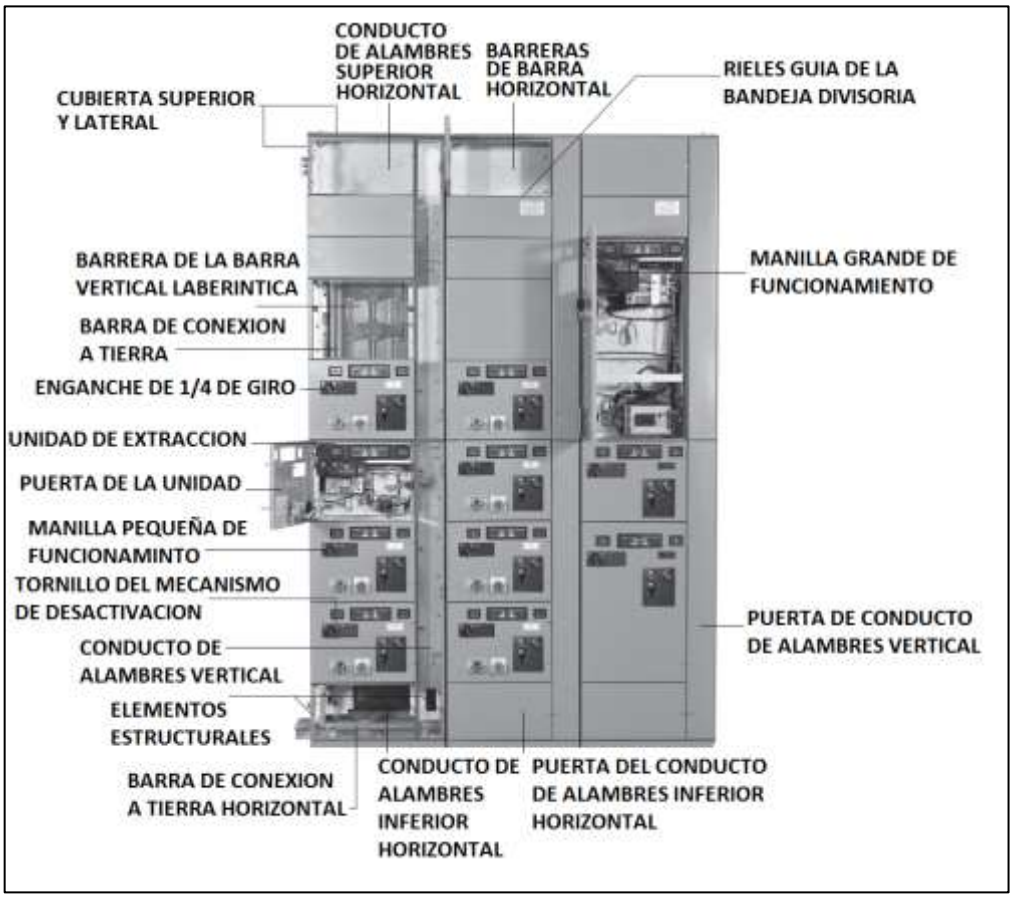


Figura 4.9 *Partes de un CCM básico* (*Guía Freedom Flashgard /p.3*)

4.3 Sistema de arranques de motores eléctricos

Durante el arranque de un motor se consume una corriente muy elevada, que en algunos casos y a ciertas potencias puede hacer caer la tensión de la red afectando el correcto funcionamiento de los equipos conectados a ella, por ello existen diversos sistemas de arranque según especificaciones del motor y de la carga. Se explicara los principales tipos de arranque que se utilizan en los motores asíncronos.

4.3.1 Arranque directo

Usado especialmente en motores asíncronos con rotor de jaula de ardilla de baja potencia como máximo 10 HP, se trata del modo de arranque más sencillo en el que el estator se acopla directamente a la red a través del contactor y dispositivos de protección, en el momento del arranque este motor presenta un momento de rotación de 0.6 a 1.5 veces el de régimen y la intensidad absorbida en el arranque toma valores de 4 a 8 veces la nominal.

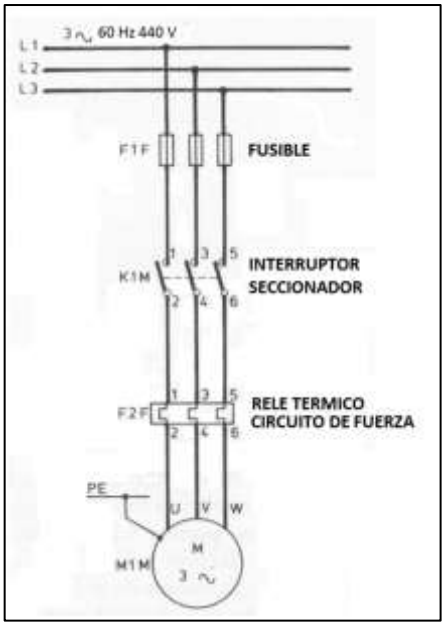


Fig. 4.10 *Esquema de arranque directo de un motor trifásico*
(Guía arranque y protección de motores - Siemens)

Su puesta en marcha se realiza de una forma simple y sencilla mediante un interruptor manual tripolar, diseñada para la intensidad de motor.

4.3.2 Arranque estrella – triangulo

Es el procedimiento más empleado para el arranque de motores trifásicos de rotor en cortocircuito, este arranque es a tensión reducida y consiste en arrancar el motor acoplando los devanados en estrella a la tensión de red, lo que equivale a dividir por $\sqrt{3}$ la tensión nominal del

motor en estrella, es decir un 58% de la tensión nominal, luego se suprime el acoplamiento en estrella y se acoplan los devanados en triangulo, cada devanado esta alimentado con la tensión de la red por lo que el motor recupera sus características principales.

En este tipo de arranque el par se reduce y es igual a un tercio del par proporcionado por el arranque directo, la corriente se reduce en la misma proporción.

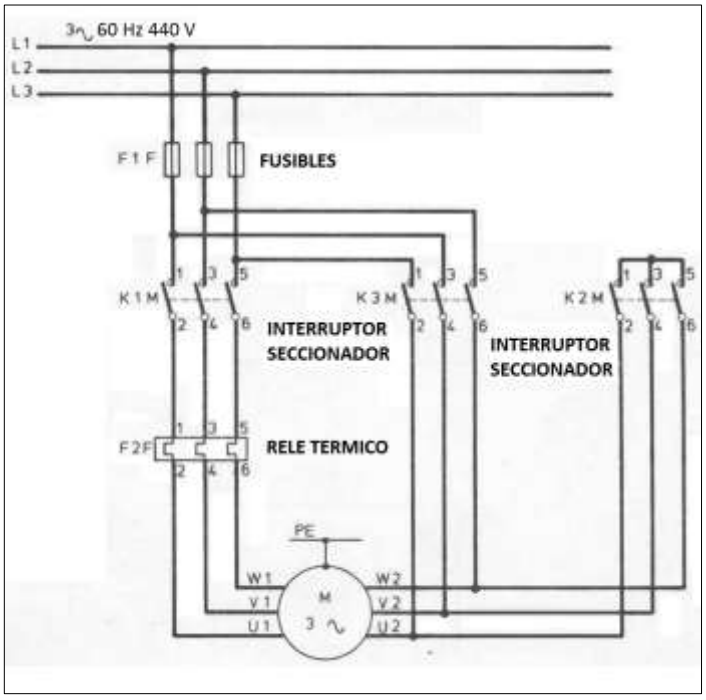


Fig. 4.11 *Esquema de arranque Estrella - Triangulo*
(Guía arranque y protección de motores - Siemens)

4.3.3 Arranque estatórico por resistencias

En este tipo de arranque es poco empleado, consiste en disponer reóstatos variables en serie con el bobinado estatórico. El motor arranca bajo tensión reducida con el reóstato al máximo de resistencia y se va disminuyendo hasta que el motor queda conectado a la tensión de la red.

El valor de la resistencia se calcula en base al máximo de corriente que no se debe superar durante el arranque, o el valor mínimo del par de arranque necesario teniendo en cuenta el par resistente. La corriente y el par de arranque generalmente varían de 4.5 y de 0.6 a 0.85 veces respectivamente.

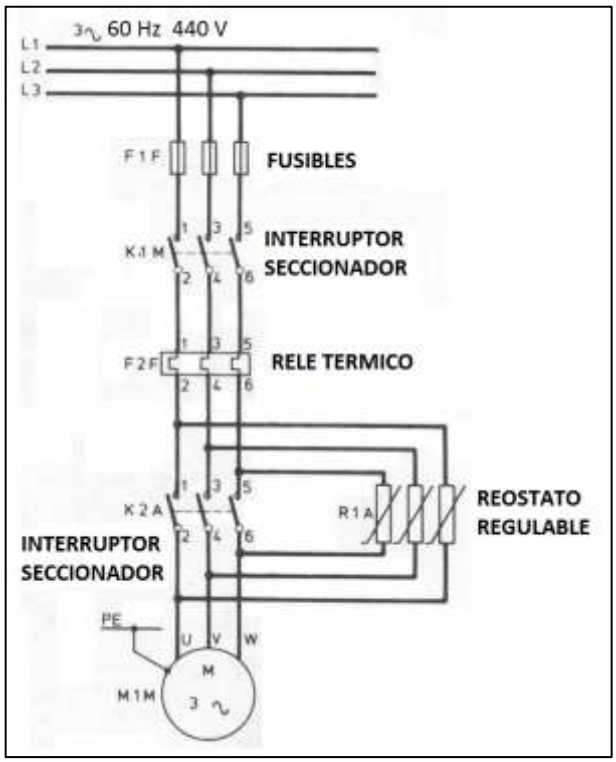


Fig. 4.12 *Esquema de arranque estatórico por resistencias*
(Guía arranque y protección de motores - Siemens)

4.3.4 Arranque estatórico con autotransformador

Es un procedimiento que se utiliza para motores de gran potencia, y consiste en intercalar entre la red de alimentación y el motor un autotransformador como se muestra la **Figura 4.13**.

Al motor se le alimenta con una tensión reducida de aproximadamente el 70% de la tensión nominal y se va elevando de forma progresiva hasta dejarlo conectado a la tensión de la red.

La corriente de arranque varia de 1.7 a 4 veces la nominal y el par de 0.4 a 0.85 veces del par nominal.

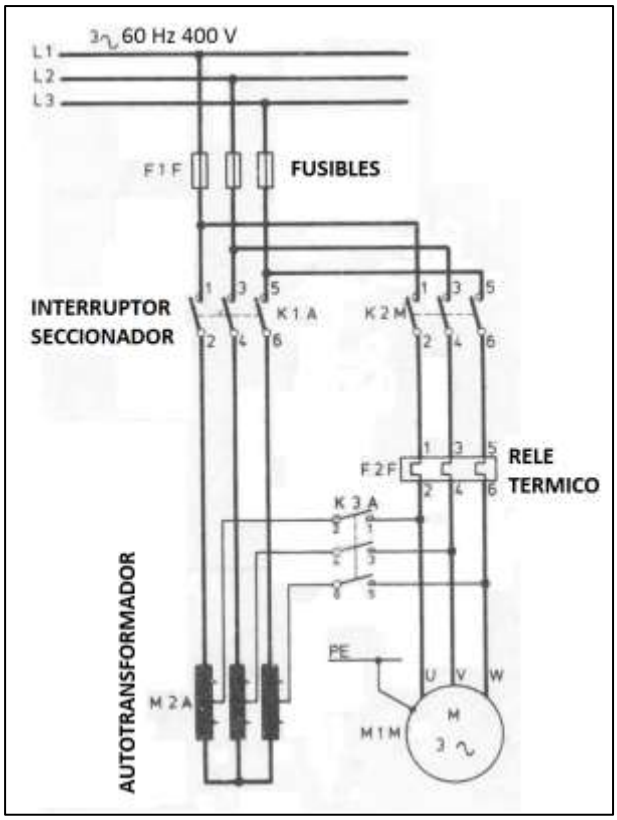


Fig. 4.13 *Esquema de arranque estatórico con autotransformador*
(Guía arranque y protección de motores - Siemens)

4.3.5 Arranque rotórico con resistencias

Este tipo de arranque es utilizado en motores tipo rotor bobinado, para ello se realiza la conexión de un reóstato de arranque conectado en serie con el bobinado del rotor, y una vez alcanzado la velocidad de régimen se puentean los anillos en estrella. Véase el esquema en la **Figura 4.14**.

El cálculo de la resistencia insertada en cada fase permite determinar con rigor la curva par-velocidad resultante, para un par dado, la velocidad es menor cuando mayor sea la resistencia, así esta debe insertase por completo en el arranque y la plena velocidad se alcanza cuando la resistencia esta cortocircuitada.

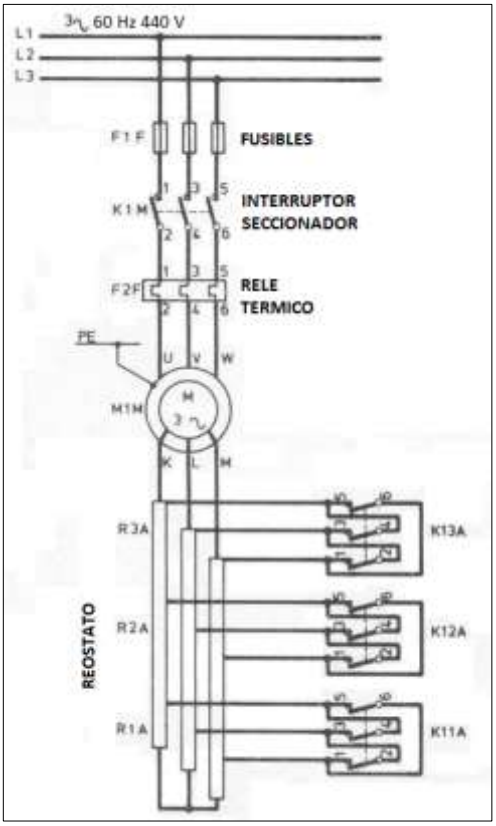


Fig. 4.14 *Esquema de arranque rotórico con resistencias*
(Guía arranque y protección de motores - Siemens)

Tabla 4.2 *Características de los distintos métodos de arranque.*
(Guía arranque y protección de motores - Siemens)

	Motores de jaula				Motores de anillos
	Arranque directo	**Arranque estrella triángulo**	**Arranque por resistencias estatóricas**	**Arranque con auto - transform.**	**Arranque rotórico**
Corriente inicial de arranque	4 a 8 In	1,3 a 2,6 In	4,5 In	1,7 a 4 In	< 2,5 In
Par inicial de arranque	0,6 a 1,5 Cn	0,2 a 0,5 Cn	0,6 a 0,85 Cn	0,4 a 0,85 Cn	< 2,5 Cn
Ventajas	Arrancador simple Par de arranque importante	Arrancador relativamente barato	Posibilidad regulación de los valores de arranque. No hay corte de alimenta-ción durante el arranque.	Buena relación par-intensidad. Posibilidad regulación de los valores de arranque. No hay corte de alimenta-ción durante el arranque.	Muy Buena relación par-intensidad. Posibilidad regulación de los valores de arranque. No hay corte de alimenta-ción durante el arranque.
Desventajas	Punta de intensidad muy importante. Asegurarse que la red admite esta punta. No permite arranque lento y progresivo.	Pequeño en el arranque. No hay posibilidad de regulación. Corte de la alimentación en el cambio de acoplamiento y fenómenos transitorios. Motor bobinado en triángulo para Un.	Pequeña reducción de la punta de arranque. Necesita Resistencias.	Necesita un auto-transformador costoso.	Motor de anillos más costoso. Necesita resistencias.
Duración media del arranque	2 a 3 s	3 a 7 s	7 a 12 s	7 a 12 s	3 tiempos: 2,5 s 4 y 5 tiempos: 5 s

CAPITULO V

EVALUACION DE PROPUESTAS EN BASE A MEJORAS

5.1 Proceso de ahorro de energía

5.1.1 Determinación de centro de costos de energía

5.1.1.1 Centro de costo de energía (CCE).

Llamado también conjunto de consumidores de energía, son las áreas que hacen uso de energía en una empresa u organización, se pueden clasificar en tres tipos como se muestra en la **Tabla 5.1**, para la presente tesis los centros de costos de energía serán los asociados a los equipos de producción, básicamente los motores eléctricos.

Tabla 5.1 *Tipos de centro de costo de energía en una empresa y/o industria*

PRODUCCIÓN	TECNOLOGÍAS INTERSECTORIALES Y SERVICIOS	OTROS
Todos los aparatos que pertenecen directamente al proceso productivo. Por ejemplo: Motores, Hornos, Ventiladores, elevadores, etc.	Equipos y/o sistemas: Calderas, Refrigeración, compresoras, iluminación, aire comprimido, redes de transporte (tuberías de aire, vapor etc.)	Conformado por equipos eléctricos de oficina, equipos de laboratorios, taller mecánico, eléctrico, etc.

5.1.2 Identificación de potenciales de ahorro

Después de ubicar los centros de costos de energía (CCE), se identifican los posibles potenciales de ahorro que son los puntos donde se encuentran desperdicios de energía (mal uso de la energía), en los motores eléctricos se encuentran potenciales de ahorro directa e indirectamente que están ligados a los procesos, a continuación se muestran principales situaciones que involucran potenciales de ahorro[10] en una instalación:

Tabla 5.2 *Identificación de potenciales de ahorro en motores eléctricos*

N°	Motores eléctricos
1	Tipo y condiciones de arranques de motores eléctricos.
2	Operación de motores eléctricos diferentes a las condiciones nominales, ya sea en vacío, con bajo factor de carga o con sobrecarga.
3	Mantenimiento de los motores según especificaciones del fabricante.
4	Uso de motores eléctricos sobredimensionados.
5	Calentamiento excesivo y operación a sub-tensión o sobre-tensión del motor eléctrico.
6	Cantidad de reparaciones y tiempo de uso de los motores eléctricos.

Tabla 5.3 *Identificación de potenciales de ahorro en sistema de bombeo*

N°	Sistema de bombeo
1	Bombas que operan, a carga parcial, o en condiciones diferentes a las nominales.
2	Horas de operación, en particular durante horas punta (HP).
3	Configuración de operación en el sistema de bombeo, bombas en serie y/o paralelo.
4	Numero de cambios de dirección que presenta la línea (tubería).

[10] *Guía N° 10 UEE – MINEM 2008, Sección 3, Oportunidades de mejora en una Refinería /p.13.*

Tabla 5.4 *Identificación de potenciales de ahorro en sistema eléctrico general*

N°	Sistema eléctrico general
1	Facturación eléctrica actual, tipo de opción tarifaria.
2	Demanda y consumo de equipos en hora punta HP y fuera de punta FP
3	Consumo de energía reactiva.

5.2 Oportunidades de mejora en equipos de plantas industriales

Como ya se vio en el Numeral 5.1.2, existen posibles potenciales de ahorro de energía que pueden ser evaluados y conociendo la información necesaria se puede identificar las mejores propuestas de ahorro, estas se van agrupar en las buenas prácticas, que requieren mínima o nula inversión, y por otro lado la optimización la cual incluye el reemplazo de equipos y que requieren un determinado grado de inversión.

5.2.1 Buenas Prácticas

Se entiende por buenas prácticas a las medidas que se pueden realizar sin (o con pequeños) esfuerzos e inversiones que influyen de manera muy positiva en el desempeño energético en el sector en el que se aplique, ya sea el comercial, servicios o la industria. La mayor parte de ellas son acciones de simple lógica, pero otras son menos fáciles de detectar y por tanto de poner en práctica. Existen muchas guías y/o manuales de buenas prácticas orientadas al uso eficiente de la energía (UEE) dirigidas a diferentes actividades y sectores. En esta sección se presentan algunas medidas prácticas, véase la **Tabla 5.5**, que al ser aplicados pueden ayudar a ahorrar energía y que pueden afectar directamente e indirectamente a los motores eléctricos y equipos como bombas e instalaciones eléctricas respectivamente.

Tabla 5.5 *Proyectos de ahorro en base a buenas prácticas*

BUENAS PRACTICAS		
N°	**Evento**	**Descripción**
1	Condición	Arranque de motores eléctricos en simultaneo
	Consecuencia	La corriente de arranque es 5 a 6 veces la corriente nominal, lo que origina picos de demanda.
	Mejora	Programar la secuencia de arranques de los motores, especialmente los motores de mediana y gran capacidad.
2	Condición	Operación de motores eléctricos en vacío, bajo carga o sobrecarga.
	Consecuencia	Baja eficiencia del motor, incremento del consumo de energía.
	Mejora	Monitoreo y control del sistema de bombeo.
3	Condición	Alineación del eje del motor.
	Consecuencia	Alineación defectuosa incrementa perdidas por rozamiento, averías en el motor y la carga.
	Mejora	Verificar la alineación del eje del motor eléctrico, según límites permitidos bajo la normativa.
4	Condición	Variación de la tensión en los alimentadores.
	Consecuencia	Tensión reducida incrementa la corriente, genera sobrecalentamiento y disminución de la eficiencia.
	Mejora	Verificar la tensión, la norma[11] permite una variación del 5% de la tensión nominal.
5	Condición	Tarifa eléctrica actual.
	Consecuencia	Pagos excesivos por consumos no acorde a la situación de consumo real de la instalación.
	Mejora	Evaluar si la facturación proviene de la mejor opción tarifaria en base a demandas y consumo en hora punta (HP) y fuera de punta (HFP).
6	Condición	Demanda y consumo en Horas Punta HP. (18:00 - 23:00 horas)
	Consecuencia	Pago elevado de demanda y consumo en HP.
	Mejora	Modulación de la carga, control de la operación de equipos no imprescindibles en el proceso productivo dentro de las horas punta HP

[11] *NTCSE 2010, Norma Técnica Calidad de Servicio Eléctrico- Sección 5.1.2.*

5.2.2 Mejoras en base a la Inversión

Los proyectos de mejoras de inversión buscan optimizar los procesos mediante la adquisición y el reemplazo de equipos ineficientes, previa evaluación técnica y económica, dichos equipos pueden ser bombas, motores e instalaciones eléctricas principalmente, para el caso de la presente tesis se estudiaran 3 casos, el uso de motores de alta eficiencia (MAE), uso de variadores de velocidad (VSD) y compensación reactiva.

5.3 Análisis de tarifas eléctricas

5.3.1 Factura de energía eléctrica

Una empresa u organización debe conocer la estructura de la tarifaria vigente, y debe estar permanentemente informado de todas las resoluciones que afecten la factura, se pueden lograr grandes ahorros vigilando este concepto, ya que los motores eléctricos influyen directamente en la demanda y consumo de la instalación.

Para interpretar correctamente una factura y poder valorar, tanto la idoneidad de las características del contrato como la evolución de consumos, es importante conocer la terminología tarifaria y algunos conceptos básicos, los cuales normalmente lo define el OSINERGMIN[12].

5.3.2 Tarifas eléctricas

El costo de la tarifa industrial, en el Perú, incluye cinco cargos variables que dependen del consumo de la instalación, cargo por energía en hora punta y fuera de punta, cargo por potencia en hora punta y fuera de punta y cargo por energía reactiva.

---

[12] *OSINERGMIN – Organismo supervisor de la inversión en energía y minería, http://www2.osinerg.gob.pe/gart.htm*

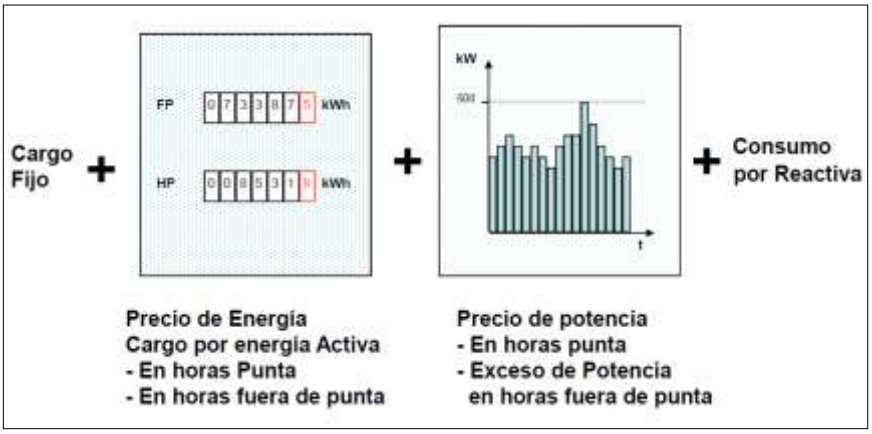


Figura 5.1 *Cargo por consumo fijo y variable de la tarifa industrial*

Este sistema de tarifas eléctricas está basado en el libre mercado y en la libre competencia entre suministradores de energía, distinguiendo a los clientes libres y a los clientes regulados, para esta tesis se analizara las tarifas eléctricas para un cliente regulado, el tipo de cliente que pertenece la refinería de estudio.

Las tarifas eléctricas en media tensión para clientes regulados son MT2, MT3 y MT4.

a. Tarifa MT2 (2E, 2P). Esta tarifa se caracteriza por tomar en cuenta dos mediciones de energía (en horas punta y fuera de punta), así como dos mediciones de demanda de potencia (en horas punta y fuera de punta).

b. Tarifa MT3 (2E, 1P). Esta tarifa se caracteriza por tomar en cuenta dos mediciones de consumo de energía (en horas punta y fuera de punta), así como una medición de demanda de potencia, para este caso se requiere establecer calificación del usuario como presente o no presente en horas punta.

c. Tarifa MT4 (1E, 1P). Esta tarifa se caracteriza por tomar en cuenta una medición de consumo de energía así como una medición de demanda de potencia, se requiere establecer calificación del usuario como presente o no presente en horas punta.

5.3.2.1 Factor de calificación (FC)

En las tarifas MT3 y MT4 se considera el factor de calificación que influye en precio por cargo por potencia, puede ser cliente presente en punta (FC ≥0.5) o cliente fuera de punta (FC<0.5), el factor de calificación se calcula como indica la ecuación 5.1.

$$FC = \frac{E\ (HP)}{N°(HP)\ P_{max}} \tag{5.1}$$

Donde:

$E(HP)$: Consumo de energía en hora punta durante el mes (kWh)

$N°(HP)$: Número de horas punta al mes, excepto domingos y feriados (h)

P_{max} : Potencia máxima registrada en el mes (kW)

5.3.2.2 Condiciones a evaluar

- Elegir la mejor tarifa (MT2, MT3, MT4) en función de la demanda y consumo.
- Controlar el factor de calificación (FC<0.5), para ser cliente presente fuera de punta.
- Controlar el consumo de energía reactiva, véase el punto 5.6.

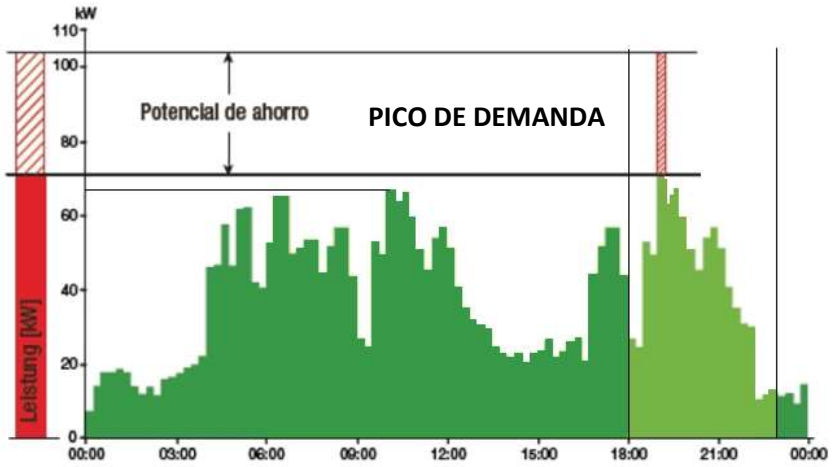


Figura 5.2. *Diagrama de carga de día típico de una instalación industrial.*

5.3.3 Análisis de arranque de motores

Los métodos más usuales para el control de la demanda son:

1. Eliminación de cargas.
2. reprogramar cargas.
3. Interrumpir temporalmente las cargas.
4. Programación de arranque (motores).

Este último es el caso que se analizara, ya que en una instalación casi todos los motores arrancan a un mismo tiempo y crean un pico de demanda, el cual se registra en el diagrama de carga (kW vs t), ver **Figura 5.2**, el cual está representado por 96 intervalos de demanda máximas (kW), y el consumo (kWh) medidos en intervalos de 15 minutos.

Analizando para la carga de un motor de potencia (P) se tendrá que la energía consumida en un intervalo de 15 minutos se puede representar como indica:

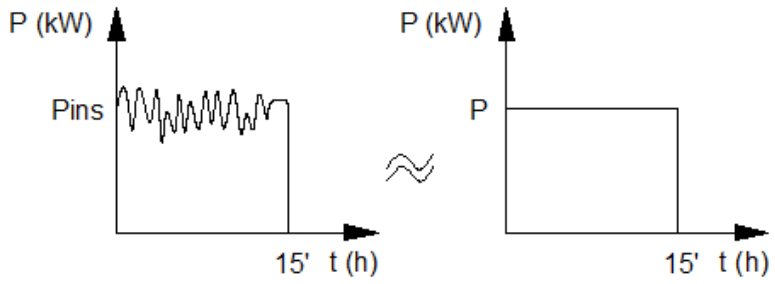


Figura 5.3 *Representación de consumo en operación (kWh)*

$$E = \int_0^{15'} P_{ins} dt \approx P.15' \left(\frac{1h}{60'}\right)$$

$$E \approx 0.25P \ (kWh)$$

Para el caso del arranque, se tiene que la corriente es aproximadamente 3 veces la corriente nominal, ver sección 4.3, entonces se tendría:

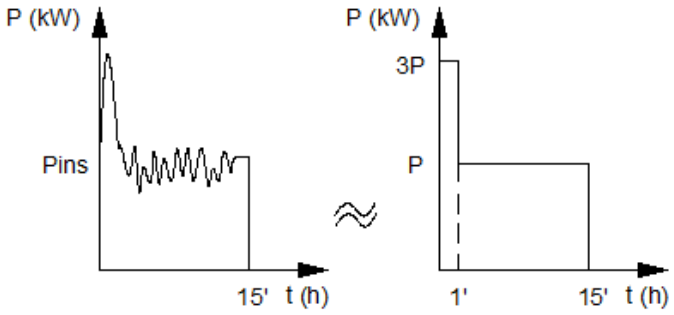


Figura 5.4 *Representación de consumo en el arranque (kWh)*

$$E = \int_0^{15'} P_{ins} dt \approx (3P.1' + P.14') \left(\frac{1h}{60'}\right)$$

$$E \approx 0.28P \ (kWh)$$

El incremento de consumo será:

$$\Delta E \approx 0.03P \ (kWh)$$

La demanda será igual a P=4E, entonces:

$$P \approx 1.13P \ (kW)$$

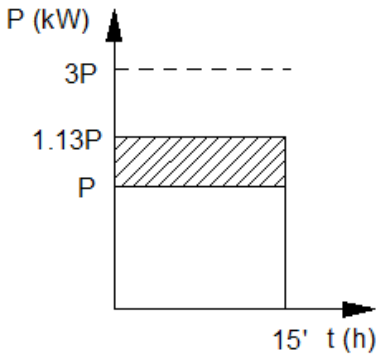


Figura 5.5 *Representación del incremento de demanda en el arranque (kWh)*

EL incremento de demanda será aproximadamente:

$$\Delta P \approx 0.13P \ (kWh)$$

5.4 Motores de alta eficiencia (MAE)

En el accionamiento de motores eléctricos se encuentran importantes oportunidades de ahorro de energía, debido al avance en el diseño y construcción de motores de alta eficiencia, por ello se recomienda el uso motores eficientes según la normativa vigente. La norma *IEC 60034-30:2008*, define tres clases de eficiencia para los motores trifásicos de inducción:

Eficiencia Premium **IE3**

Eficiencia Alta **IE2**

Eficiencia Estándar **IE1**

La norma también hace una introducción a la clase **IE4** (Eficiencia Super Premium), un nivel encima de la clase IE3, sin embargo los motores con esta eficiencia aún no están disponibles comercialmente. Estos niveles de eficiencia están basados en métodos de pruebas especificados e indicados en la norma *IEC 60034-2-1:2007* y la norma *IEEE Std 112*, con baja incertidumbre para las eficiencias IE2 e IE3.

La **Figura 5.6** hace una comparación de los niveles de eficiencia según las normas IEC, CEMEP[13] (europea) y NEMA (americana), véase Anexo E.

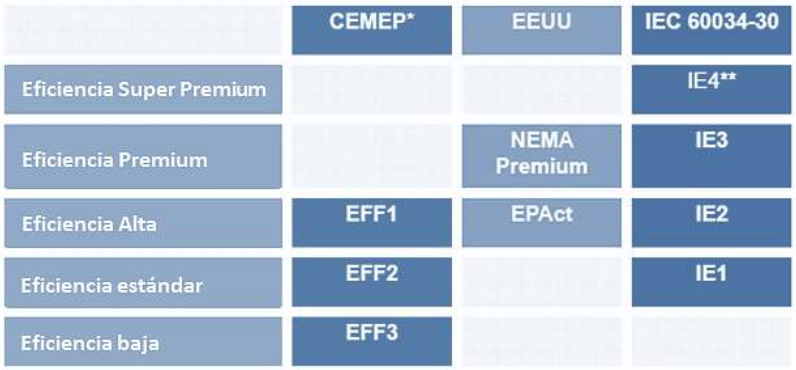


Figura 5.6 *Comparación de niveles de motores eficientes según norma*

[13] *CEMEP, The European Commitee of Manufactures of Electrical Machines and Power Systems.*

** CEMEP, a partir de 16 de junio de 2011 la utilización "EFF" ya no se utiliza más.*

*** Norma IEC 60034-31 Ed.1*

5.4.1 Análisis de motores estándar vs motores (MAE)

Se tienen dos motores, uno de alta eficiencia (MAE) con una eficiencia n_{AE} que consume una potencia eléctrica Pe_{AE} y otro estándar (std) con eficiencia n_{std} y potencia eléctrica *Pestd* como se muestra en la **Figura 5.7**.

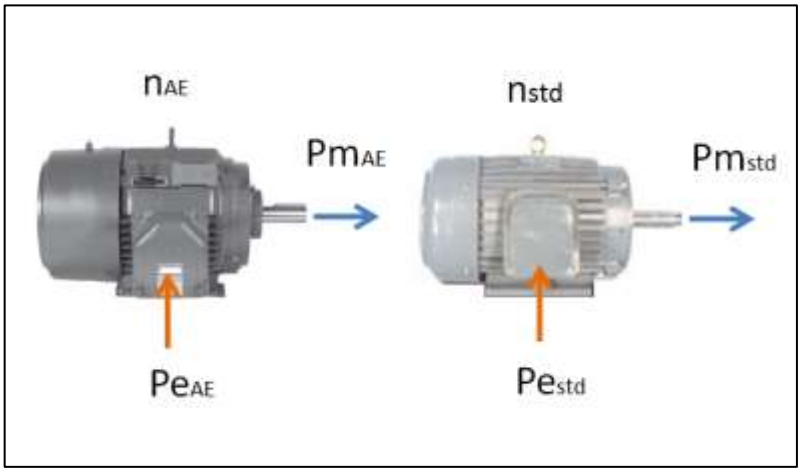


Figura 5.7 *Comparación de motores eléctricos*

Por dato se tiene que la eficiencia estándar es menor que la del motor de alta eficiencia, y sabiendo que la eficiencia es la relación de potencia de salida entre la potencia de entrada se tendría:

$$n_{std} < n_{AE}$$

$$\frac{Pm_{std}}{Pe_{std}} < \frac{Pm_{AE}}{Pe_{AE}}$$

Para un mismo requerimiento del sistema sin variar el proceso (potencia mecánica), se tendría que la potencia mecánica en el eje del motor estándar es igual a la del motor de alta eficiencia, $Pm_{AE} = Pm_{sd}$, entonces se tendría:

$$\frac{1}{Pe_{std}} < \frac{1}{Pe_{AE}}$$

$$\therefore Pe_{AE} < Pe_{std}$$

Por lo tanto la potencia eléctrica consumida del motor de alta eficiencia será menor que la potencia del motor estándar, la cual depende específicamente de la eficiencia que presente el motor, en el desarrollo de esta tesis el cálculo de la eficiencia se verá en el punto 5.2.4.

5.4.2 Cálculo de eficiencia en un motor estándar

La eficiencia de un motor permite saber la relación entre la energía que está consumiendo y entregando, lo que es fundamental para evaluar el reemplazo de los motores por otros de mayor de eficiencia, para fines de esta tesis el cálculo estimado de la eficiencia se realizara a través del método de corrección de la eficiencia[14] con un nivel de incertidumbre medio pero aceptable, para ello se utilizara los parámetros eléctricos tomados de los datos de placa o de la fichas técnicas y de mediciones en la instalación.

Procedimiento

1. Se calcula la potencia eléctrica del motor (Pe_{STD}) en operación actual a partir de las mediciones realizadas de las tensiones (V_{pro}), corrientes (I_{pro}) y del factor de potencia (FP).

$$Pe_{std} = \frac{\sqrt{3}\ V_{pro}\ I_{pro}\ FP}{1000} \tag{5.2}$$

2. La eficiencia de un motor varía de acuerdo al porcentaje de carga requerido, para ello se evaluara el factor de carga actual (FC_{STD}), en función de la eficiencia a dicha carga.

$$FC_{std} = \frac{Pe_{std}\ n_{std}}{0.746.\ Pn_{std}} \tag{5.3}$$

---

[14] *FIDE (2002) México, Procedimiento de evaluación para sustitución de motores por motores de alta eficiencia / p.1. Obregón Lozano, J.(2005). Medición de la eficiencia a motores de inducción utilizando el método de deslizamiento /p.47 (Tesis de Maestría) Universidad Autónoma de Nuevo León - México*

Para determinar la eficiencia n_{FC} a un factor de carga FC_{STD}, se procederá con una interpolación lineal entre el factor de carga inmediato inferior *FC1* y el superior *FC2*, comprendida entre los porcentajes (0.25, 0.50, 0.75 y 1.00) de acuerdo a las fichas técnicas o curvas de desempeño del motor evaluado.

Factor de carga	Eficiencia
FC1	n_1
FCstd	n_{FC}
FC2	n_2

$$n_{FC} = \left(\frac{FC_{std} - FC_1}{FC_2 - FC_1}\right)(n_2 - n_1) + n_1 \tag{5.4}$$

3. Se realizara el cálculo de la eficiencia ajustada con la ecuación 5.5.

$$n_{std-a} = FA_{DV}(\, n_{FC} + FA_{VV} - FA_{Re}) \tag{5.5}$$

Considerando.

Factor de ajuste por desbalanceo en tensión (*FADV*).

$$FA_{DV} = 1 - (DV_{std})(0.0113 + 0.0073\, DV_{std}) \tag{5.6}$$

- El desbalanceo de tensión (*DVstd)*, es la máxima desviación de la tensión de línea con respecto al promedio del sistema, utilizando la tensión máxima, mínima y promedio.

$$DV_{std} = \left(\frac{Max\left\{\left(V_{max} - V_{pro}\right) \text{ ó } \left(V_{pro} - V_{min}\right)\right\}}{V_{pro}}\right) \tag{5.7}$$

Factor de ajuste por diferencia de tensión (*FAVV*).

$$FA_{VV} = (VV_{std})(0.07 - 1.334\, VV_{std}) - 0.0009 \tag{5.8}$$

- La diferencia en tensión (*DVstd)* se define como la relación de la tensión trifásica promedio de línea y la tensión indicada en la placa.

$$VV_{std} = \left(\frac{V_{pro}}{V_{nominal}} - 1\right) \tag{5.9}$$

Factor de ajuste por rebobinados (*FARe*).

Todo motor que ha sido rebobinado sufre deterioro en la eficiencia, en la **Tabla 5.6** se muestra la relación de perdida unitaria de la eficiencia en función de la temperatura aplicada durante la reparación del motor, la corrección solo se aplicara una vez, independiente del número de rebobinados.

Tabla 5.6 *Factor de ajuste por reducción de la eficiencia por rebobinado*

Temperatura (°C)	**Reducción de la eficiencia FA_{RE}**
633	0.0053
683	0.0117
733 (Soplete)	0.0250

4. Calculo de la potencia al eje del motor actual, conociendo la eficiencia ajustada se puede calcular la potencia mecánica entregada al sistema motriz dada en la ecuación 5.10.

$$Pm_{std} = n_{std-a}\ Pe_{std} \tag{5.10}$$

5.4.3 Evaluación de ahorro energético

Se sabe que la eficiencia máxima de un motor se obtiene en torno al 75 – 85 % de la carga, por ello una vez conocida la potencia mecánica que requiere el accionamiento se evaluara el uso de un nuevo motor que trabaje a la máxima eficiencia, según las curvas de desempeño, para los cálculos de esta tesis será del 75 % de la carga.

1. La potencia necesaria del nuevo motor eficiente al porcentaje de carga indicada.

$$Pm_{AE} = \left(\frac{Pm_{std}}{0.75}\right) \tag{5.11}$$

Una vez determinada la potencia necesaria en el nuevo motor se debe calcular el factor de carga al cual trabajara a través de la relación de la ecuación 5.12.

$$FC_{AE} = \frac{Pm_{Ef}}{Pn_{Ef}} \tag{5.12}$$

La potencia nominal del nuevo motor Pn_{AE} será el inmediato superior a la obtenida de la ecuación 5.11.

2. En base al factor de carga se determina la eficiencia n_{AE} del nuevo motor de acuerdo al catálogo del fabricante, como no coincidirán los valores del factor de carga con los datos del fabricante, será necesario interpolar, para ello se utilizara la ecuación 5.4.

3. Ajustes a la nueva eficiencia, obteniendo la eficiencia n_{AE}, para un factor de carga FC_{AE}, se procederá a ajustar la eficiencia, vista en la sección anterior, para ello se presenta la ecuación 5.13 derivada de la ecuación 5.5, con $FARe$ =0 por ser un motor nuevo, FA_{DV} el mismo hallado en la ecuación 5.7.

$$n_{AE-a} = FA_{DV}\left(n_{Ef} + FA_{VV}\right) \tag{5.13}$$

El factor de ajuste por diferencia de tensión FA_{VV} se calculara de nuevo con los nuevos datos y en base a las ecuaciones 5.8 y 5.9.

4. La potencia demandada por el nuevo motor se calculara con la eficiencia, potencia de placa y el factor de carga a la que trabajara según la ecuación 5.14.

$$Pe_{AE} = \frac{0.746\ Pn_{AE}\ FC_{AE}}{n_{AE-a}} \tag{5.14}$$

5. En el ahorro energético estimado está conformado por el ahorro en potencia y el ahorro en energía. Ahorro en potencia (AP). Para el primer caso será de la diferencia del valor de la potencia eléctrica actual (Pe_{Std}) respecto de la potencia eléctrica del nuevo motor (Pe_{AE}), como se muestra en la ecuación 5.15.

$$AP = Pe_{AE} - Pe_{Std} \tag{5.15}$$

5.4.3.6 Ahorro en energía (AE). En el segundo caso se calcula el ahorro del consumo y está dado por ahorro de potencia (AP) y las horas de operación al año (t_{OP}), como indica la ecuación 5.16.

$$AE = (AP).(\ t_{op}) \tag{5.16}$$

5.4.4 Condiciones para evaluar el reemplazo de motores

Las condiciones principales para evaluar el reemplazo de motores por nuevos motores estándar o motores de alta eficiencia son:

- Motores que operen con una eficiencia muy por debajo de la eficiencia estándar.
- Motores que operen con un factor de carga menor al 50%.
- Motores con una antigüedad de más de 10 años.
- Cuando el motor ha sido rebobinado más de 3 veces.
- Motores con más de 4000 horas de operación al año.
- Cuando el motor presenta calentamiento excesivo.

5.5 Variadores de velocidad (VSD)

Un variador de velocidad o llamado también de frecuencia (VSD, por sus siglas en inglés Variable Speed Drive), es un equipo electrónico que controla la velocidad, el torque, la potencia y la dirección de un motor (DC) o (AC), con una amplia variedad de aplicaciones en la industria, tales como ventiladores, bombas, transportadores, etc.

Figura 5.8 *Variadores de velocidad Altivar (Schneider Electric)*

Los variadores de frecuencia o velocidad se utilizan cuando se requiere manejar flujos variables en bombas; utilizar variadores de velocidad en lugar de estrangular los flujos con válvulas o compuertas, las cuales reducen significativamente (en una curva cubica) las potencias eléctricas demandadas en dicha operación por esos equipos, por ello es recomendable la implementación de variadores de velocidad con control automático PID.

5.5.1 Análisis del ahorro energético por regulación de caudal

En muchas instalaciones existe la necesidad de regular el caudal de la bomba según las necesidades de la planta, por ello se analizara el caso de regulación para disminuir el caudal por estrangulamiento y por variación de la velocidad, para ello se considera que se tiene una

bomba que opera a un caudal (Q) y a una altura del sistema (H) y se quiere regular a un caudal menor (Q'), como se muestra en la **Figuras 5.9** y **5.10**.

Regulación por estrangulamiento, es el método más sencillo, sin embargo acarrea perdidas expresadas en el aumento de la altura del sistema, lo que conlleva a un alto consumo de energía para vencer las pérdidas de estrangulamiento en las válvulas.

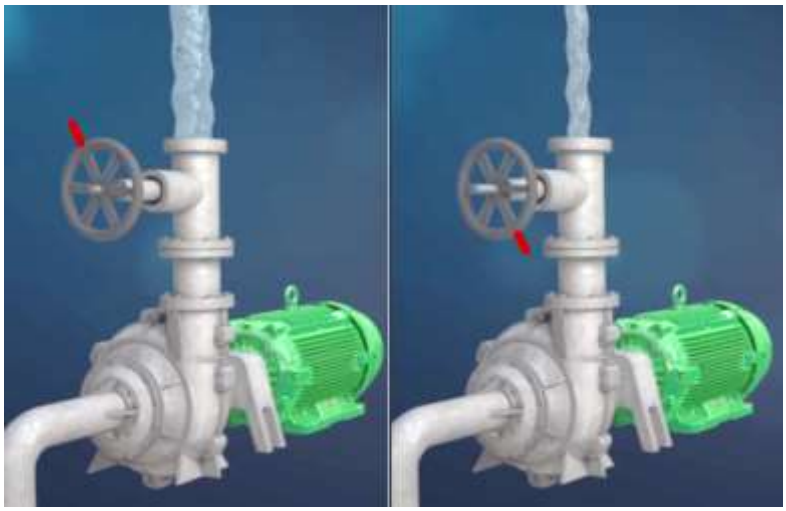


Figura 5.9 *Regulación de la bomba por estrangulamiento (Schneider Electric)*

Regulación por variación de velocidad, en este caso la bomba opera en las mejores condiciones ya que mantendrá las mismas perdidas, la velocidad aumenta al crecer el consumo y disminuye al reducir la velocidad en forma proporcional.

Se presenta las curvas características de operación de una bomba centrifuga con las condiciones descritas a continuación, el fluido presenta una gravedad especifica (GE), con una caudal (Q_1) y a una altura del sistema (H_1) a una velocidad de rotación (Nn), véase **Figura 5.11**.

Se analiza la potencia consumida por regulación por válvula de estrangulamiento y por el uso de variador de velocidad.

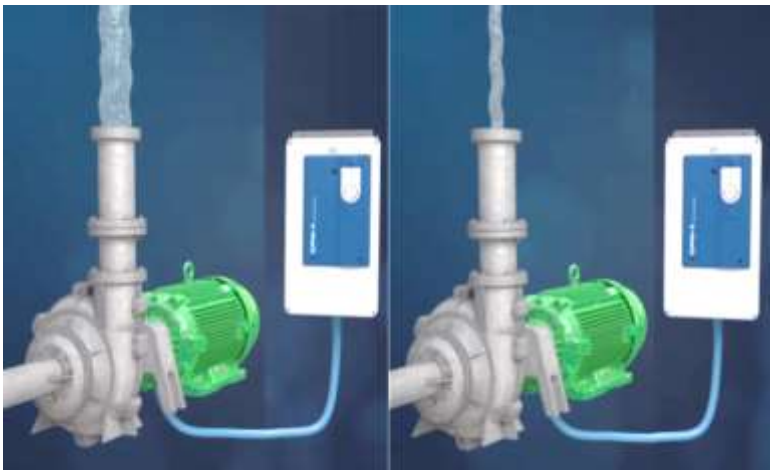


Figura 5.10 *Regulación de la bomba por variación de velocidad (Schneider Electric)*

La potencia eléctrica (*Pe*) que consume el motor se puede expresar en función de la potencia hidráulica (P_H), considerando las eficiencias del motor (n_m) y de la bomba (n_B) por ello se tendría:

$$Pe = \frac{P_H}{n_m\, n_B} \tag{5.17}$$

Reemplazando por la potencia hidráulica, en la ecuación 4.4:

$$Pe = \frac{Q\, H_m\, GE}{3960\, n_m\, n_B} \tag{5.18}$$

De la **Figura 5.11**, se observa las cuatro curvas de operación, siendo las 2 primeras las condiciones de operación nominal y la segunda las de regulación.

En la regulación por estrangulamiento, este proceso se realiza manualmente con el cierre de una válvula tipo compuerta como se muestra en la **Figura 5.9**, reduciendo el caudal de (Q_1) a (Q_2) y aumentando la altura del sistema de H1 a H2, viéndose reflejada en el incremento de pérdidas a una velocidad de rotación (Nm).

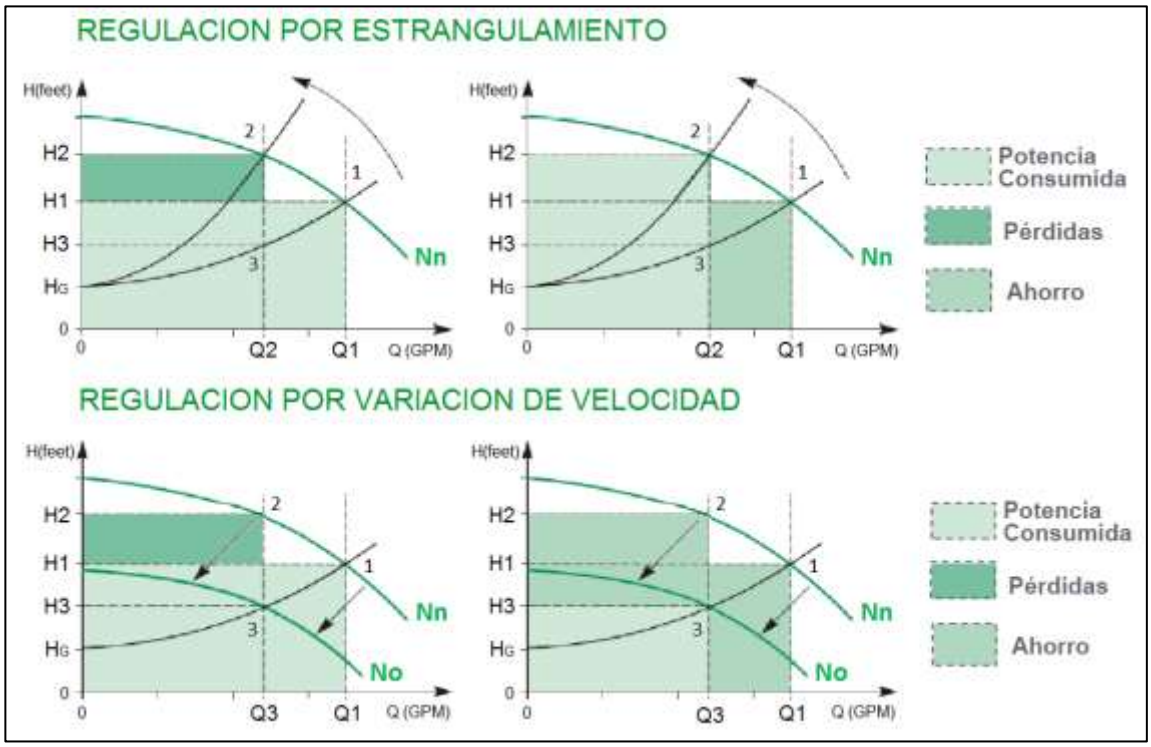


Figura 5.11 *Comparación de tipos de* r*egulación de una bomba centrifuga (Schneider Electric)*

En la regulación por variación de velocidad, este caso se requiere de los variadores de velocidad o frecuencia que se regulan automáticamente de acuerdo a las necesidades del sistema, como se muestra en la **Figura 5.10**. El caudal (Q_1) se reduce a un caudal (Q_3) disminuyendo la altura del sistema de (H_1) a (H_3), con una velocidad de rotación (No) menor, generalmente entre el 60 a 80%.

Se observa la potencia eléctrica es directamente proporcional al caudal y la altura del sistema (Pe=f(Q,Hm)), y mantenimiento constante (K) la gravedad específica y las eficiencias del motor y la bomba, entonces se tendría:

$$Pe = k\ Q\ H_m$$

Para el caso de regulación por estrangulamiento, se tendría la potencia eléctrica que consume el motor:

$$Pe_i = k\ Q_1\ H_1$$

Para la regulación por estrangulamiento se tendría una potencia eléctrica:

$$Pe_E = k\ Q_2\ H_2$$

Para la regulación por variación de velocidad se tendría potencia eléctrica:

$$Pe_V = k\ Q_3\ H_3$$

De **Figura 5.11**, se tiene que el caudal regulado es el mismo (Q_3=Q_2) y la altura del sistema por estrangulamiento (H_2) es mayor que la altura del sistema por variación de velocidad (H_3), entonces evaluando:

$$H_3 < H_2$$

$$KQ_3H_3 < KQ_2H_3$$

$$\therefore\ Pe_V < Pe_R$$

Por lo tanto se comprueba que al regular el caudal por variación de velocidad (uso de variadores de velocidad o frecuencia) se obtiene menos consumo de la potencia eléctrica que por la regulación por estrangulamiento.

Para determinar el consumo se debe de contar con el tiempo de regulación del caudal, el cual es variable y debe ser proporcionado por el área de operaciones y/o procesos.

5.5.2 Condiciones para evaluar el uso de VSD

1. Ventajas en el uso de variadores de velocidad

- El consumo de energía de una bomba es proporcional a la velocidad al cubo, si se reduce la velocidad en un 20%.
- Se puede tener el control de un sistema de bombeo completa.
- El control de arranque de motores eléctricos es suave.

- El consumo energético se adapta a la exigencia del motor.
- Distintas velocidades de operación para cada fase del proceso.
- Evita picos o puntas de intensidad en los arranques del motor.
- Los arranques y paradas son controlados, suaves y sin movimientos bruscos.
- EL par se controla totalmente a cualquier velocidad, lo que evita saltos o bloques del motor ante la carga.
- Se conoce en tiempo real el estado del variador y el motor.

2. Desventaja en el uso de variadores de velocidad

- Si no está bien aislado (con filtros) o instalado, puede derivar ruidos e interferencias en la red eléctrica, que podrían afectar a otros elementos electrónicos cercanos, generando distorsión armónica (calidad de energía).
- Los variadores presentan costos elevados, se debe evaluar económicamente.

5.6 Compensación reactiva

La mayoría de las cargas industriales (motores, transformadores, etc.) alimentadas con corriente alterna necesitan para su funcionamiento dos tipos de energía activa y reactiva, en el caso de los motores eléctricos utilizan la energía activa para la transformación de energía mecánica y la energía reactiva para la creación de los campos magnéticos necesarios para su funcionamiento, los motores asíncronos consumen del 65 al 75% de la energía reactiva.

5.6.0.1 Factor de potencia (fdp)

Es la relación entre la potencia activa (P) expresada en kW y la potencia aparente (S) expresada en kVA que se obtienen de las líneas de alimentación.

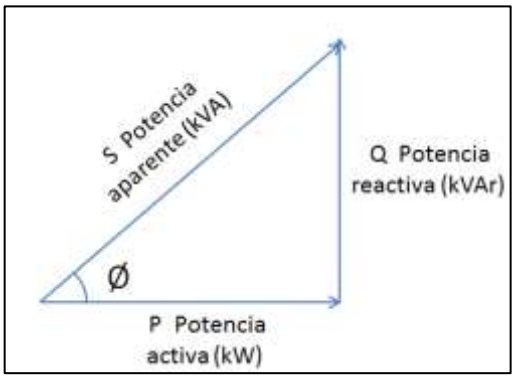


Figura 5.12 *Triangulo de potencias*

Representado matemáticamente como el coseno del ángulo formado por el desfase de la corriente respecto a la tensión aplicada.

$$fdp = cos\emptyset = \frac{P}{S} \tag{5.19}$$

Donde:

$\emptyset$: Angulo de desfase de la tensión respecto a la corriente (°)

P : Potencia activa (kW)

S : Potencia aparente (kVA)

5.6.0.2 Compensación

Mejorar el factor de potencia de una instalación consiste en instalar un condensador al lado del consumidor de energía reactiva, esto se denomina compensar una instalación.

La instalación de un banco de condensadores de potencia Qc disminuye la cantidad de energía reactiva suministrada por la red.

La capacidad del banco de condensadores a instalare de penderá del tipo de configuración de la instalación y de los valores de potencia y el desfase del ángulo de tensión y corriente.

Tabla 5.7 *Factor de potencia de un motor eléctrico a diferentes cargas*
(Compensación E. Reactiva – Schneider Electric)

Equipo		cosØ	tgØ
Motor Asíncrono carga a	0%	0.17	5.8
	25%	0.55	1.52
	50%	0.73	0.94
	75%	0.80	0.75
	100%	0.85	0.62

5.6.1 Tipos de compensación reactiva

La compensación se realizara previa evaluación de las condiciones de operación de los motores eléctricos, los tres tipos de compensación en paralelo más usado son:

5.6.1.1 Compensación individual

Los condensadores se conectan directamente a los bornes del receptor, este tipo de compensación se realiza para grandes consumidores de potencia. Generalmente cuando la potencia reactiva a compensar esta sobre un 25% de la potencia del motor.

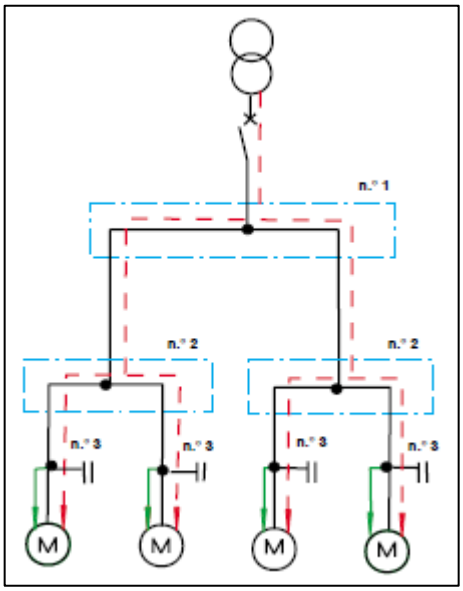


Figura 5.13 *Esquema de compensación individual (Schneider Electric)*

5.6.1.2 Compensación grupal

Los grupos se conforman de varios consumidores de iguales características de operación y se compensan por medio de un condensador común que se conecta a las barras del cuadro de distribución local, como se muestra en la **Figura 5.14**.

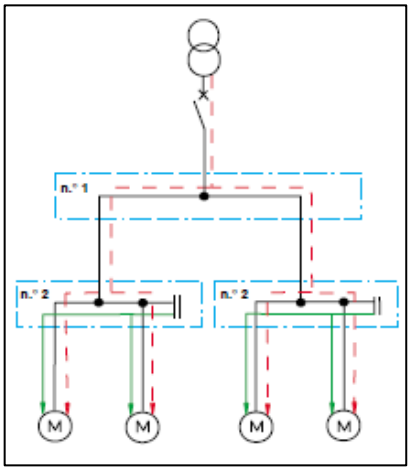


Figura 5.14 *Esquema de compensación grupal (Schneider Electric)*

5.6.1.3 Compensación global

La potencia reactiva- inductiva de varios consumidores de diferentes características de operación, es compensada por medio de un banco de condensadores en la alimentación principal de la instalación y permanece en servicio durante el periodo de carga normal.

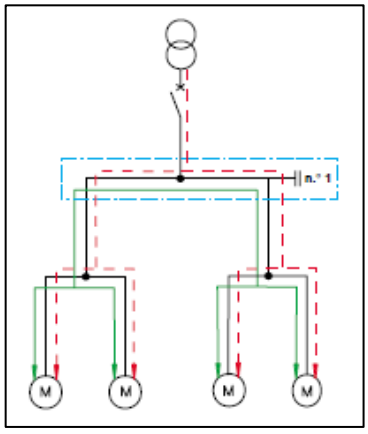


Figura 5.15 *Esquema de compensación global (Schneider Electric)*

5.6.2 Análisis de ahorro de energía por compensación reactiva

5.6.2.1 Cálculo del banco de condensadores.

Se presenta el caso de un motor que consume una potencia aparente (S), y se quiere reducir el factor de potencia inicial (fdpi) a un factor de potencia final (fdpf) como se muestra en la **Figura 5.16**

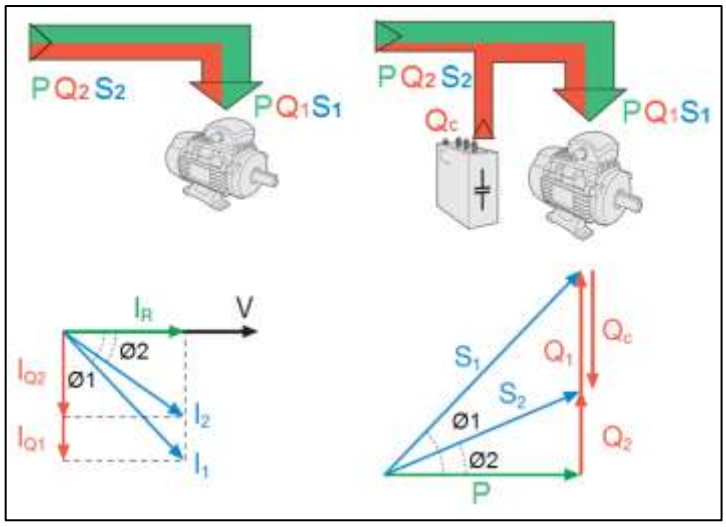


Figura 5.16 *Esquema de reducción del factor de potencia (Schneider Electric)*

El cálculo del banco de condensadores para la reducción del factor de potencia se calculara como:

$$Q_C = P\ (tg\emptyset_1 - tg\emptyset_2) \tag{5.20}$$

Donde:

Q_C : Potencia reactiva del banco (kVAr)

P : Potencia activa (kW)

$\emptyset_1$: Angulo del fdp inicial

$\emptyset_2$: Angulo del fdp final

También existe un método simplificado para hallar el valor del banco de condensadores, el cual consiste en multiplicar la potencia activa (P) por el factor del cuadro de compensación reactiva, véase Anexo F, para ello se hace la intersección del factor potencia inicial (fdp_i) de la fila con el factor de potencia final requerido (fdp_f) de la columna. Este método es válido para cualquier nivel de tensión.

5.6.2.2 Reducción de pérdidas en los conductores

Al mejorar el factor de potencia (fdp), se reducen las pérdidas en los conductores, para calcular el porcentaje de reducción de pérdidas se utilizará la ecuación 5.21, que pueden llegar a ser del 2 al 5 % de la carga total.

$$\%\ Reduccion\ de\ perdidas = 100\left(1 - \left(\frac{cos\emptyset_i}{cos\emptyset_f}\right)^2\right) \qquad (5.21)$$

5.6.3 Condiciones para evaluar la compensación reactiva

Las condiciones principales se evaluaran a través de las ventajas y desventajas de instalar un banco de condensadores:

1. Ventajas en el uso de compensar la energía reactiva

- Liberación de potencia en la instalación
- Reducción de corriente en alimentadores.
- Evitar el pago por penalidad por exceso de energía reactiva.
- Reducir perdidas por efecto joule (RI^2) en los conductores.
- Liberar la capacidad de los transformadores.
- Mejora la regulación de la tensión.

2. Desventaja en el uso de compensar la energía reactiva

- Generación de distorsión armónica (calidad de energía).
- Reducen la calidad de la alimentación eléctrica (aumento de la corriente)
- Distorsión de la tensión de alimentación.
- Control de factor de distorsión armónica (TDH_V<5% y THD_I<8%) según la NTCSE.

5.7 Evaluación económica – financiera

En esta sección se estimara en base a cálculos: el beneficio económico esperado, el costo de implementación, el retorno de inversión y el análisis de sensibilidad de los indicadores económicos, para ello se debe contar con la información de los ahorros de consumo y demanda, previamente calculados de todas las mejoras evaluadas vistas en las secciones previas (buenas prácticas y proyectos en base a inversión).

5.7.1 Evaluación del beneficio económico esperado

El beneficio económico está relacionado, por lo general, con el ahorro de energía proyectado, y en algunos casos con una reducción de la demanda.

El cálculo del beneficio económico deberá estar expresado en el mismo período para el cual se ha efectuado el cálculo del ahorro económico, generalmente mensual o anual, para ello se requiere establecer el precio del energético involucrado, para los cálculos de la presente tesis se establecerá un precio ponderado en base a los precios de las facturas eléctricas de los 6 o 12 últimos meses, tomando el valor que resulte apropiado para estimar el beneficio económico.

El beneficio económico por ahorro de energía se expresa como:

$$BE = AE.C_e \tag{5.22}$$

Donde:

BE : Beneficio económico por ahorro de energía (S/. / año)

AE : Ahorro anual de energía (kW.h / año)

C_e : Costo de energía (S/. / kW.h)

El beneficio económico por reducción de potencia se expresa como:

$$BP = 12.AP.C_P \tag{5.23}$$

Donde:

BP : Beneficio económico por reducción de potencia (S/. / año)

AP : Ahorro por reducción de potencia (kW)

C_P : Costo de potencia (S/. / kW-mes)

El beneficio económico total anual BT (S/. / año), es la suma del beneficio económico por ahorro de energía y reducción de potencia:

$$BT = BE + BP \tag{5.24}$$

5.7.2 Evaluación del costo de implementación y retorno de inversión

El costo de implementación está asociado con la mejoras que originará el ahorro de energía esperado, deberá ser calculado sobre la base de cotizaciones de los proveedores que proporcionen un estimado del orden de la magnitud involucrada del proyecto evaluado. En este costo deberá considerarse, principalmente, el costo de inversión inicial (una sola vez), mientras que los costos de operación y mantenimiento (periódicos) deberán ser descontados del beneficio económico (calculado en base al ahorro de energía).

Existen varios métodos para establecer el retorno de inversión de las oportunidades y recomendaciones para el ahorro de energía y obtención de beneficio económico. Entre ellos, se incluyen:

RI Retorno de inversión

VAN Valor actual neto

TIR Tasa interna de retorno

5.7.2.1 Retorno de inversión

El periodo de retorno simple es lo suficientemente apropiado para evaluar costo beneficio en proyectos con retornos generalmente menores a los 3 ó 4 años. A medida que este retorno se hace más prolongado, se hace necesario considerar los otros dos métodos como el VAN y TIR.

El retorno de inversión simple se calcula mediante la expresión:

$$RI = \frac{IMP}{AE} \tag{5.25}$$

Donde:

IMP : Costo de implementación (S/.)

AE : Ahorro económico (S/./año)

RI : Retorno de inversión (Año)

En cuanto a los métodos del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) se utilizan las siguientes ecuaciones, que permiten transformar el valor presente en anualidades o valor futuro como se muestra a continuación:

$$(F/P) = (1+i)^n \tag{5.26}$$

$$(F/A) = \frac{(1+i)^n - 1}{i} \tag{5.27}$$

$$(A/P) = \frac{i\,(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \tag{5.28}$$

Donde:

P : Valor presente

A : Valor anual

F : Valor futuro

n : Vida útil

i : Tasa de interés

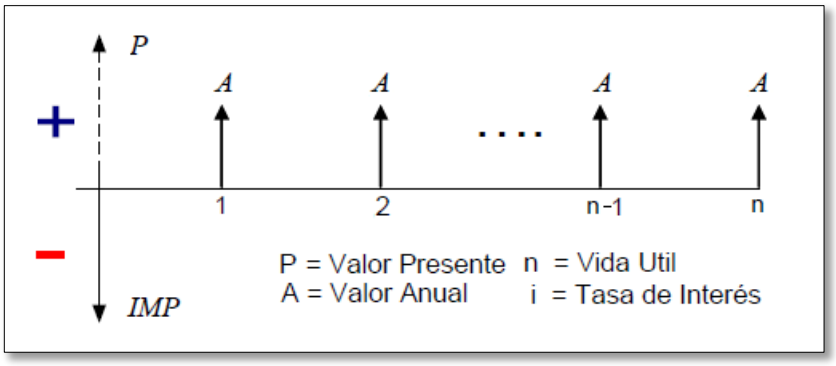


Figura 5.17 *Análisis del valor actual neto VAN*

5.7.3 Análisis de sensibilidad de los indicadores económicos-financieros

El análisis de sensibilidad de los indicadores económico-financieros de la rentabilidad de un proyecto de eficiencia energética deberá considerar posibles variaciones tanto en el costo de implementación como en el beneficio económico, para los cálculos se utilizara una variación del ±10 % para el ahorro económico y para los costos de implementación, de la Tabla 5.8, se tiene un índice en el retorno de inversión (RI) que varía en el rango de 0.81RI a 1.20RI.

Tabla 5.8 *Análisis de sensibilidad de retorno de inversión*

		Variación del ahorro económico				
		-10%	-5%	0	5%	10%
Variación del costo de implementación	-10%	RI	0.95 RI	0.90 RI	0.85 RI	**0.81 RI**
	-5%	1.05 RI	RI	0.95 RI	0.90 RI	0.85 RI
	0	1.10 RI	1.05 RI	RI	0.95 RI	0.90 RI
	5%	1.15 RI	1.10 RI	1.05 RI	RI	0.95 RI
	10%	**1.20 RI**	1.15 RI	1.10 RI	1.05 RI	RI

CAPITULO VI

APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE AHORRO DE ENERGIA EN REFINERIA DE PETROLEO

En el presente capítulo se presenta a modo de ilustración el caso de estudio de la evaluación energética a una refinería de petróleo, basado principalmente en el ISO 50001:2011, la Guía N°10[15], y en lo descrito en los capítulos previos.

6.1 Desarrollo de la evaluación energética

Se muestra el diagrama de flujo del procedimiento, véase la **Figura 6.1**, para aplicar una evaluación energética, según lo indicado en la cláusula 4.4 del ISO 50001:2011, (Véase Anexo L), enfocada en el sistema de fuerza de la planta de procesos de la refinería de petróleo.

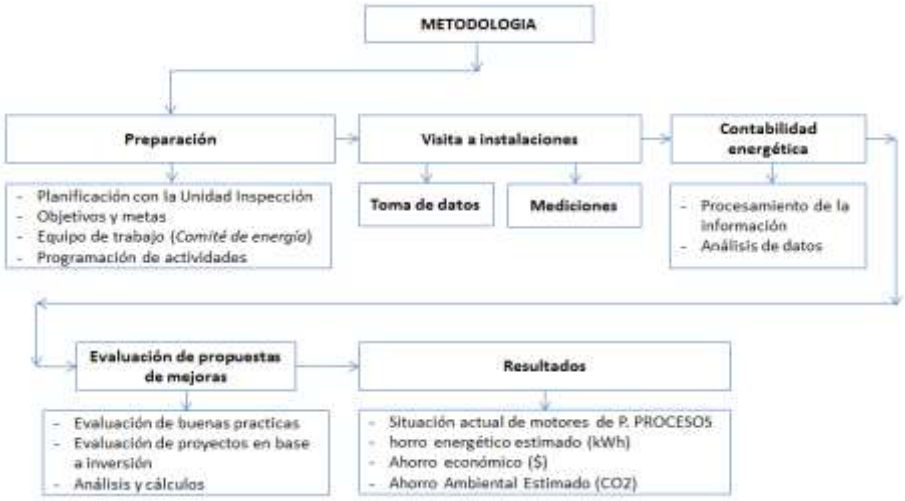


Figura 6.1 *Procedimiento de evaluación energética*

[15] *Guía N° 10: Elaboración de Proyectos de Guías de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnostico energético - REFINERÍAS – MINEM 2008.*

6.1.1 Preparación

La preparación consta de la planificación en conjunto con la empresa; la comunicación se realiza planificando con el área encargada, donde se establece y describe, según lo indicado en la cláusula 4.2.1 del ISO 50001:2011, (Véase Anexo L), los objetivos y metas así como los alcances y límites, descrito en el Capítulo I, que se quiere lograr con el estudio que se desarrollara, así mismo establecer un equipo de trabajo (comité de energía) con personal mixto. Se debe desarrollar un cronograma de actividades indicando los plazos y fechas de cada fase de la evaluación, véase la **Figura 6.2**.

CRONOGRAMA DE TRABAJO

ACTIVIDADES			1					2					3					4				
N°	DESCRIPCION	RECURSO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Recoleccion y actualización de informacion basica (Pn, Vn, In, FP, Etc.), demanda y consumo de los 6 -12 ultimos meses	Fichas tecnicas de motores eléctricos, Facturas electricas																				
2	**Presentacion y revisión de avance**	Disponibilidad 15 minutos																				
3	Medicion de consumo de REF (Diagrama de carga P vs t, semana típica, c/15 min)	**Equipo analizador de redes (disponibilidad 1 semana)**																				
4	Condiciones de operacion de motores (horas funcionamiento, tipo de arranque, ubicación de puntos de mediciones (Tableros)	Facilidades de acceso a planta de procesos																				
5	Recoleccion de informacion asociada al proceso de produccion (consulta operadores, ton. de produccion.)	Facilidades de acceso a planta de procesos																				
6	**Presentacion y revisión de avance**	Disponibilidad 15 minutos																				
7	Medicion de consumo de PROCESOS (Diagrama de carga P vs t, semana típica, c/15 min)	**Equipo analizador de redes (disponibilidad 1 semana)**																				
8	Medicion puntual 7 motores/dia (V, I, P, FP)	**Multimetro, Pinza amperimetrica (Osciloscopio)**																				
9	Medicion puntual 7 motores/dia (V, I, P, FP)	**Multimetro, Pinza amperimetrica (Osciloscopio)**																				
10	Medicion puntual 7 motores/dia (V, I, P, FP)	**Multimetro, Pinza amperimetrica (Osciloscopio)**																				
11	Medicion puntual 7 motores/dia (V, I, P, FP)	**Multimetro, Pinza amperimetrica (Osciloscopio)**																				
12	**Presentacion y revisión de avance**	Disponibilidad 15 minutos																				
13	Analisis y calculos de datos	Ninguno																				
14	**Presentacion y revisión de avance**	Disponibilidad 15 minutos																				
15	**PRESENTACIÓN Y SUSTENTACION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES FINALES.**	Disponibilidad 30 minutos																				

Figura 6.2 *Descripción de un cronograma de actividades*

6.2 Visita a instalaciones

La visita a las instalaciones según la planificación descrita en el cronograma de actividades, costa de: la inspección a la instalación e identificación del centro de costo de energía (CCE), la toma de datos, las mediciones necesarias y las coordinaciones pertinentes con las unidades involucradas.

Para visitas a instalaciones industriales de alto riesgo como refinerías de petróleo se debe tener en consideración las siguientes normativas:

Ley 29783 - Ley de seguridad y Salud en el Trabajo

RM-111-2013-MEM/DM Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo con Electricidad

6.2.1 Recopilación de información básica

La información debe ser brindada por las áreas correspondientes (procesos, ingeniería, mantenimiento, etc.) que manejen la información energética respectiva, según lo indicado en la cláusula 4.2.1 del ISO 50001:2011, (Véase Anexo L).

Para empezar se define condiciones de suministró de energía[16], por parte de la suministradora eléctrica respectiva, para este caso Luz del Sur, como se muestra a continuación:

Tarifa Eléctrica	**: MT3**
Nivel de tensión	**: 10kV, 60Hz, 3Ø**
Rel. Transformación	**: 10/0.44/0.22 kV**
Potencia contratada	**: 1MW**
Sub Estación Eléctrica	**: 1 Transformador 1250 kVA**

El consumo eléctrico se debe de obtener los parámetros eléctricos como: potencia, energía activa, reactiva, en hora punta y fuera de punta de los 6 ó 12 últimos meses indicados en los recibos de facturación. Se presenta los consumos típicos[17] correspondiente a los primeros meses del año, véase la **Tabla 6.1**.

---

[16] *Ing. Alberto Sandoval R. (2001). CENYTEC S.A.C, Ejemplo de implementación de programa de eficiencia energética en la industria / p.5.*

[17] *Ing. Eduardo Tiravanti Z. (2014). TECSUP. Programa Integral de Eficiencia Energética en Sistemas Industriales. Valores referenciales en base a datos de consumo de refinerías de petróleo del Perú (Repsol, Petroperú S.A., etc.)*

Tabla 6.1 *Parámetros de consumo eléctrico mensual típico de la instalación industrial*

MES	DEMANDA		ENERGIA		kVAr	N° Horas	FC	Monto (S/.)	%
	kW_HP	kW_FP	kWh_HP	kWh_FP					
ENERO	867.85	843.80	71,728.00	310,467.00	236,863.00	125	0.661	101,614.23	-5.51
FEBRERO	858.50	847.50	86,287.00	365,612.00	280,061.00	130	0.773	113,170.42	5.24
MARZO	962.55	902.00	67,965.00	272,206.00	210,819.00	120	0.588	98,528.95	-8.38
ABRIL	856.65	818.30	73,175.00	314,685.00	240,374.00	125	0.683	102,124.19	-5.03
MAYO	924.80	892.00	92,193.00	430,262.00	323,788.00	125	0.798	127,773.31	14.66
JUNIO	850.00	820.00	73,950.00	309,140.00	237,418.00	130	0.669	102,002.63	-5.15
PROM.	**886.73**	**853.93**	**77,549.67**	**333,728.67**	**254,887.17**	**126**	**0.695**	**107,535.62**	**0.00**
ANUAL			**4,935,340.00 kWh/año**					**1,290,427.46**	

La **Tabla 6.2** muestra los parámetros eléctricos de último mes obtenido de la **Tabla 6.1**.

Tabla 6.2 *Parámetros de consumo eléctrico del último mes*

PARAMETROS DE CONSUMO					
DEMANDA			ENERGIA ACTIVA		
H.P.	850.00	kW	H.P.	73,950.00	kWh
H.F.P.	820.00	kW	H.F.P.	309,140.00	kWh
MAX	850.00	kW	TOTAL	383,090.00	kWh
FACTOR DE CALIFICACIÓN			ENERGIA REACTIVA		
FACTOR	0.669		TOTAL	237,418.00	kVARh

Las **Figuras 6.3** y **6.4**, muestran la evolución de la demanda y consumo respectivamente.

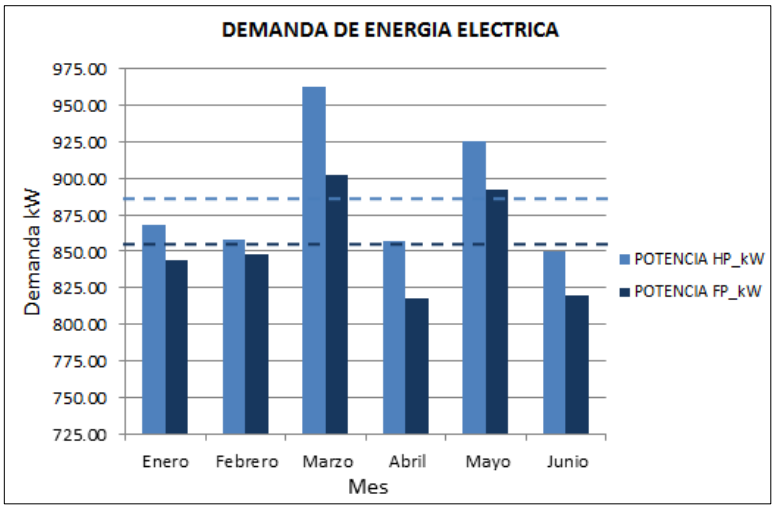


Figura 6.3 *Estadística de demanda eléctrica de enero a junio*

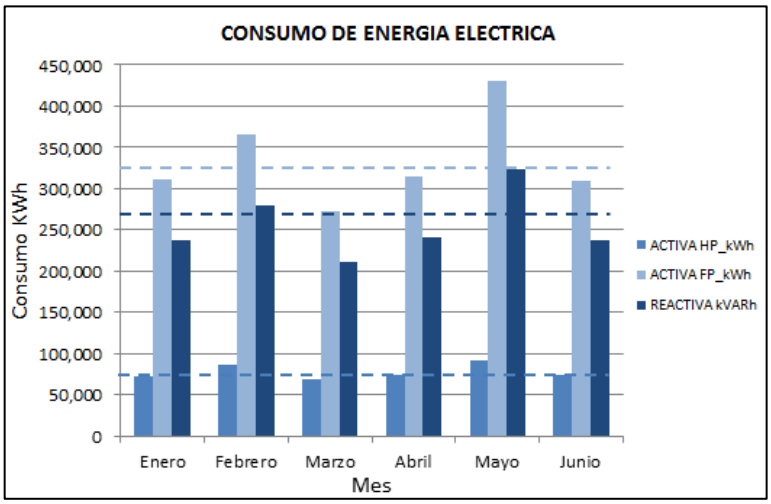


Figura 6.4 *Estadística de consumo eléctrico de enero a junio*

6.2.1.1 Planta de procesos

Una planta de procesos cuenta con bombas de diferentes capacidades dependiendo de las operaciones que realice; para el presente capítulo se tomaran en cuenta los siguientes procesos principales descritos en la sección 3.4, que involucran la carga, destilación atmosférica y destilación de vacío.

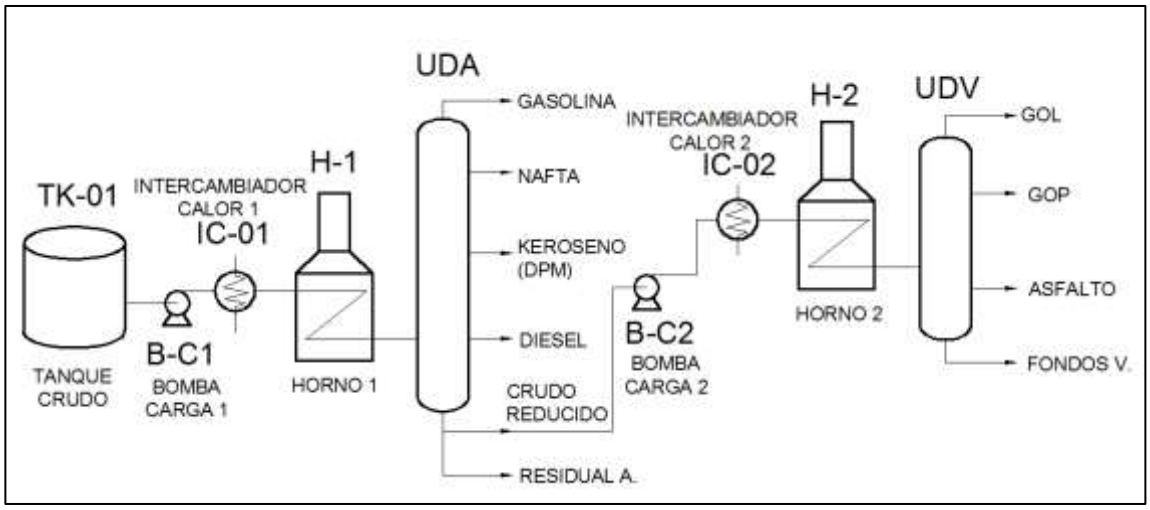


Figura 6.5 *Esquema de operación de la planta de procesos*

El crudo almacenado en el tanque de carga necesita ser transportado a la unidad de destilación primaria (UDA) pasando previamente por los intercambiadores de calor y luego por el horno, para luego ser destilado donde se obtienen los principales productos (Gasolina, Nafta, Keroseno (DPM) y Diésel), como se observa en la **Figura 6.5**, así como el residual atmosférico o crudo reducido del cual una parte se destina a la unidad de destilación de vacío (UDV) en el cual se obtienen productos como Gasóleo liviano (GOL), Gasóleo pesado y Asfalto al igual que los residuos de vacío o fondos de vacío los cuales serán destinados a otro tipos de procesos. Algunos productos, para ambos casos, serán distribuidos a otros procesos químicos y/o transportados a los tanques para su almacenamiento y venta

La **Tabla 6.3**, se muestra los principales parámetros de operación a los que se realiza la destilación descrita previamente, con lo cual cada producto está asociado a un equipo de bombeo como se verá en la **Tabla 6.4**.

Tabla 6.3 *Parámetros de operación de refinación de petróleo*[18]

N° Unidad		Fluido	Parámetros Crudo[19]			Caudal (GPM)	Volumen (MBPD)
			Volumen (%)	G.E.	Temperatura (°C)		
1	Carga	Crudo	100	0.95	< 28	1500	51.43
2	UDA	Gasolina	10	0.68	[28 - 110]	150	5.14
3	UDA	Nafta	13	0.76	[110 - 160]	195	6.69
4	UDA	Keroseno (DPM)	7	0.80	[160 - 230]	105	3.60
5	UDA	Diésel	10	0.87	[230 - 300]	150	5.14
6	UDA	Residual A.	10	0.98	[300 - 350]	150	5.14
7	UDA	Crudo reducido	50	0.98	[350 - 390]	750	25.71
8	UDV	Carga	50	0.98	390	750	25.71
9	UDV	GOL	5	0.85	[390 - 430]	75	2.57
10	UDV	GOP	5	0.90	[430 - 470]	75	2.57
11	UDV	Asfalto	10	1.00	[470 - 510]	150	5.14
12	UDV	Fondos V.	30	1.02	> 510	450	15.43

[18] *Ídem (17).*

[19] *ASTM D2892 Standard Test Method for Distillation of Crude Petroleum. (15 Theoretical Plate Column)*

6.2.2 Equipos de Medición

En un proceso de evaluación energética se debe contar con los instrumentos adecuados para realizar las mediciones necesarias, por ello se utilizan principalmente los siguientes equipos:

1. Analizador de redes. El analizador de redes es un equipo que mide, registra y almacena una gran variedad de parámetros eléctricos del cual se puede obtener el diagrama de carga de una carga y/o instalación, usado con el fin para obtener el control y la gestión de los energéticos de una instalación o industria.

Figura 6.6 *Analizador de redes* (*Analizador de Energía 435 - Fluke*)

2. Osciloscopio (Scopemeter). El osciloscopio digital portátil es un instrumento de visualización electrónico para la representación de señales eléctricas que varían en el tiempo de los principales parámetros eléctricos.

Figura 6.7 *Osciloscopio* (*Scopemeter 125 - Fluke*)

6.2.3 Mediciones de campo

La refinería de petróleo cuenta con los siguientes motores para impulsar los fluidos descritos en la sección 6.2.1.1 y en la **Tabla 6.3**, para el presente estudio se analizaran 12 motores eléctricos trifásicos del sistema de bombeo, que corresponden a los principales procesos de carga, de unidad de destilación atmosférica (UDA) y de unidad de destilación de vacío (UDV), ver la descripción en la sección 3.4 y en el Anexo M.

Los motores cuentan con más 20 años de operación operando las 24 horas al día, todo el año excepto en paradas de planta programadas, aproximadamente 1 mes por año.

Se presenta la **Tabla 6.4** donde se muestra los principales parámetros eléctricos promedios en base a un registro de mediciones ya sea in situ y/o información brindada por el área encargada[20].

Tabla 6.4 *Parámetros de motores de la planta de procesos*

N°	Tipo	Tag	Unidad	Fluido	Potencia Nominal (HP)	Tensión (V)	Corriente (A)	fdp (COSØ)
1	Bomba	B-C1	Carga	Crudo	**75**	441.7	85.8	0.89
2	Bomba	B-C2	Carga	Crudo	**75**	442.4	85.6	0.89
3	Bomba	B-G1	UDA	Gasolina	**20**	440.3	19.2	0.85
4	Bomba	B-N1	UDA	Nafta	**25**	441.7	20.1	0.81
5	Bomba	B-K1	UDA	Keroseno (DPM)	**15**	440.6	10.2	0.83
6	Bomba	B-D1	UDA	Diésel	**20**	441.4	23.8	0.87
7	Bomba	B-R1	UDA	Residual A.	**25**	440.4	23.1	0.84
8	Bomba	B-C3	UDA	Crudo R. - Carga	**50**	441.9	51.0	0.88
9	Bomba	B-G2	CDV	GOL	**10**	440.7	10.3	0.86
10	Bomba	B-G3	CDV	GOP	**10**	442.2	10.5	0.89
11	Bomba	B-A1	CDV	Asfalto	**25**	441.4	23.4	0.84
12	Bomba	B-R2	CDV	Fondos V.	**40**	441.7	43.6	0.89

[20] *Ídem (17).*

6.3 Contabilidad energética

Para empezar se analizara la condición del consumo de la Refinería:

6.3.1 Análisis de consumo eléctrico

Se analizara las condiciones de consumo según lo indicado en el punto 5.3.2 y con la información mostrada en el punto 6.2.1.

Tomando los datos de consumo para el último mes de junio, evaluando y comparando con los precios del pliego tarifario[21], ver **Tabla 6.5**, se verifica que se encuentra en la mejor opción tarifaria (MT3), sin embargo no en las mejores condiciones para ello se debe corregir el factor de calificación y evitar el pago por exceso de consumo de energía reactiva.

Tabla 6.5 *Comparación de tarifas eléctricas del mes de Junio*

PLIEGO TARIFARIO LIMA SUR del 04 de Julio del 2014			MONTO A PAGAR S/. PLAN TARIFARIO			AHORRO ECONOMICO (S/.)	
N°	CONDICION	F.C.	MT2	MT3	MT4	MONTO	%
1	CONDICION ACTUAL	0.669	103,970.39	102,002.63	102,405.27	-	
2	(FC < 0.5)	0.498	101,929.51	90,852.79	91,952.05	11,149.84	10.93
3	E. REACTIVA<0.30EA	0.669	99,572.18	97,605.20	98,007.84	4,397.43	4.31
4	(FC < 0.5) y E. REACT.	0.498	97,532.08	86,455.36	87,254.63	15,547.27	15.24
					ANUAL	186,567.24	

Una forma para que se obtenga un factor de calificación presente fuera de punta (FP) es aumentar la demanda en un 3.53% (30kW) y reducir el consumo aproximadamente en un 22.92% (16,950 kWh-mes) como se indica en la **Tabla 6.6**.

[21] *Ver Anexo D para los precios del Pliego Tarifario de Lima Sur del 04 de Julio del 2014.*

Tabla 6.6 *Corrección del factor de calificación presente fuera de punta (HFP)*

N°	CONDICION	F.C.	kW_MAX	kWh_HP	% KW	% KWh
1	CONDICION INICIAL	0.669	850.00	73,950.00	-	-
2	CONDICION FINAL	0.498	880.00	57,000.00	103.53	77.08
3	-		-30.00	16,950.00	-3.53	22.92

6.3.2 Análisis de arranque de motores

El arranque de los motores, en base a la información proporcionado, se realiza por arranque en configuración estrella - triangulo, indicando que la corriente de arranque será aproximadamente hasta un máximo de 3 veces la corriente nominal, véase la sección 4.3., como ya se vio en la sección 5.3.3, se obtiene que el arranque del motor origina un incremento de consumo y potencia evaluando para cada motor indicado en la **Tabla 6.4**, se obtiene:

Tabla 6.7 *Incremento de potencia por arranque de motores*

N°	P (HP)	Pe (kW)	1.13Pe (kW)	Δ P (kW)
1	**75**	58.66	66.29	7.63
2	**75**	58.66	66.29	7.63
3	**20**	12.52	14.15	1.63
4	**25**	12.52	14.15	1.63
5	**15**	6.41	7.24	0.83
6	**20**	16.01	18.09	2.08
7	**25**	14.74	16.66	1.92
8	**50**	34.39	38.86	4.47
9	**10**	6.70	7.57	0.87
10	**10**	7.14	8.07	0.93
11	**25**	15.03	16.98	1.95
12	**40**	29.31	33.12	3.81
Total				35.37

Por el arranque de todos los motores mencionados en conjunto se obtiene un incremento total de 35.37 kW aproximadamente, para el caso particular de corrección del factor de calificación

(FC) mencionado en la sección 6.3.1, se puede poner en marcha todos los motores una vez a fin de obtener el incremento necesario para disminuir el factor de calificación (FC <0.5).

6.3.3 Análisis de consumo de los motores eléctricos

De los datos mostrados en la **Tabla 6.4** y utilizando la ecuación 2.3, se determina la demanda y el consumo mensual correspondiente al mes de junio.

Tabla 6.8 *Consumo de los motores eléctricos mes de junio*

N°	Tipo	Tag	Potencia Nominal (HP)	Tensión (V)	Corriente (A)	fdp (COSØ)	Potencia eléctrica (kW)	Consumo Eléctrico (kWh-mes)
1	Bomba	B-C1	**75**	441.7	85.8	0.89	58.42	42,062.76
2	Bomba	B-C2	**75**	442.4	85.6	0.89	58.38	42,031.22
3	Bomba	B-G1	**20**	440.3	19.2	0.85	12.45	8,961.11
4	Bomba	B-N1	**25**	441.7	20.1	0.81	12.46	8,968.12
5	Bomba	B-K1	**15**	440.6	10.2	0.83	6.46	4,651.74
6	Bomba	B-D1	**20**	441.4	23.8	0.87	15.83	11,397.82
7	Bomba	B-R1	**25**	440.4	23.1	0.84	14.80	10,656.92
8	Bomba	B-C3	**50**	441.9	51.0	0.88	34.35	24,732.61
10	Bomba	B-G2	**10**	440.7	10.3	0.86	6.76	4,868.24
11	Bomba	B-G3	**10**	442.2	10.5	0.89	7.16	5,153.37
12	Bomba	B-A2	**25**	441.4	23.4	0.84	15.03	10,819.83
13	Bomba	B-R2	**40**	439.9	43.6	0.89	29.57	21,287.45
						Total	**271.65**	**195,591.20**

La demanda de los motores evaluados es de 271.65 kW y el consumo de 195,591.20 kWh aproximadamente que representa el 32 % de la demanda máxima y el 51% de la energía consumida respectivamente, indicada **Tabla 6.2**, en el mes de junio.

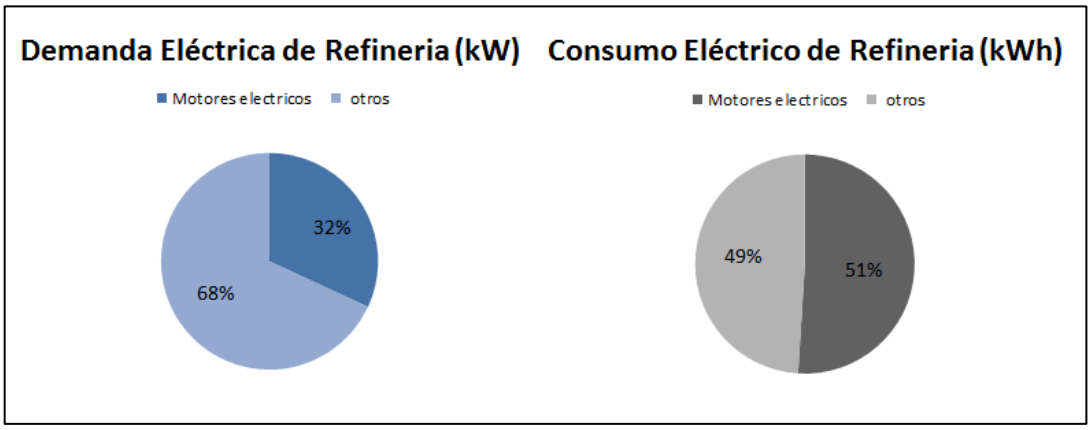


Figura 6.8 *Porcentajes de demanda y consumo eléctrico*

6.4 Evaluación de propuestas de mejoras

6.4.1 Evaluación de motores de alta eficiencia MAE

Para evaluar el reemplazo y uso de MAE, es necesario primero conocer la eficiencia de los motores estándar para ello se realiza el cálculo utilizando las indicaciones del punto 5.4.2, y con la información mostrada en la **Tabla 6.4**. Se presentara el ejemplo con los siguientes datos y mediciones descritos en la **Tabla 6.8**.

Tabla 6.9 *Datos de placa y mediciones de motor de 75 HP*

Datos del motor		**Unidades**
Vn	440	V
Pn	75	HP
n	89.5	%
Mediciones		**Unidades**
V_R	441.8	V
V_S	441.6	V
V_T	444.8	V
I	85.8	A
FP	0.89	-

Primero se calculara la potencia del consumo actual, utilizando la ecuación 5.2:

$$Pe = \frac{\sqrt{3}\ (\ 441.7)\ (85.8)\ (0.89)}{1000}$$

$$Pe = 58.42\ kW$$

Se calcula el factor de carga inicial a la que opera el motor, utilizando la ecuación 5.3.

$$FC = \frac{(58.42)\ (0.895)}{(75)(0.746)}$$

$$FC = 0.93$$

La eficiencia que presenta el motor para dicho factor de carga se hallara con la interpolación de las eficiencias de la carga inferior y superior, ver Anexo F, y se calcula con la ecuación 5.4.

Factor de carga	Eficiencia
0.75	0.9047
0.93	*n*
1.00	0.9113

$$n_{FC} = \left(\frac{0.93 - 0.75}{1.00 - 0.75}\right)\ (0.9113 - 0.9047) + 0.9047$$

$$n_{FC} = \mathbf{0.9096}$$

La eficiencia real estimada será ajustada debido a las condiciones de operación.

Factor de ajuste por desbalanceo en tensión (*FADV*), utilizando las ecuaciones 5.6 y 5.7.

$$DV_{std} = \left(\frac{Max\ \{(441.8 - 441.7)\ \text{ó}\ \ (441.7 - 441.6)\}}{441.7}\right)$$

$$DV_{std} = 0.000302$$

$$FA_{DV} = 1 - (0.000302)(0.0113 + 0.0073\ (0.00247))$$

$$FA_{DV} = 0.9999$$

Factor de ajuste por diferencia de tensión (*FAVV*), utilizando las ecuaciones 5.8 y 5.9.

$$VV_{std} = \left(\frac{441.7}{440} - 1\right)$$

$$VV_{std} = 0.00394$$

$$FA_{VV} = (0.00394)\big(0.07 - 1.334\ (0.00977)\big) - 0.0009$$

$$FA_{VV} = -0.000645$$

Factor de ajuste por rebobinados (*FARe*), por las pérdidas debido a los rebobinados se considera 0.025 como factor de ajuste.

$$FA_{Re} = 0.025$$

La eficiencia ajustada ser calculara utilizando la ecuación 5.5.

$$n_{ajus} = (0.9999)(0.9095 - 0.000654 - 0.025)$$

$$n_{ajus} = 0.8839$$

Para garantizar los cálculos se le dará un factor de seguridad de 1.05, entonces la eficiencia quedara ajustada como:

$$n_{op} = 0.8839/1.05\ = 0.8418$$

Realizando los mismos cálculos para los motores de la **Tabla 6.8** se tendrá la eficiencia a factor de carga:

Tabla 6.10 *Calculo de eficiencia a factor de carga*

N°	P (HP)	Pstd (kW)	FCstd	FC1	FC2	n1	n2	n.FC
1	**75**	58.42	**0.93**	0.75	1.00	0.9047	0.9113	**0.9096**
2	**75**	58.37	**0.93**	0.75	1.00	0.9047	0.9113	**0.9096**
3	**20**	12.45	**0.72**	0.50	0.75	0.8798	0.8934	**0.8916**
4	**25**	12.45	**0.58**	0.50	0.75	0.8907	0.9021	**0.8942**
5	**15**	6.46	**0.50**	0.25	0.50	0.8219	0.8728	**0.8719**
6	**20**	15.83	**0.91**	0.75	1.00	0.8934	0.8981	**0.8965**
7	**25**	14.80	**0.69**	0.50	0.75	0.8907	0.9021	**0.8992**
8	**50**	34.35	**0.81**	0.75	1.00	0.9047	0.9018	**0.9040**
9	**10**	6.76	**0.77**	0.50	0.75	0.8866	0.8873	**0.8874**
10	**10**	7.16	**0.82**	0.75	1.00	0.8873	0.8680	**0.8822**
11	**25**	15.03	**0.70**	0.50	0.75	0.8907	0.9021	**0.8997**
12	**40**	29.57	**0.87**	0.75	1.00	0.8945	0.8919	**0.8932**

Tabla 6.11 *Cálculo de Eficiencia por factores de ajuste*

N°	P (HP)	VVstd	FA-V	DVstd	FA-D	FA-R	n ajus	nop FS=1.05
1	**75**	0.00394	-0.000644	0.000302	0.9999	0.0250	0.8839	**0.8418**
2	**75**	0.00538	-0.000562	0.000377	1.0000	0.0250	0.8840	**0.8419**
3	**20**	0.00068	-0.000852	0.000681	0.9999	0.0250	0.8658	**0.8245**
4	**25**	0.00379	-0.000653	0.000302	1.0000	0.0250	0.8686	**0.8272**
5	**15**	0.00129	-0.000812	0.000605	0.9999	0.0250	0.8460	**0.8057**
6	**20**	0.00311	-0.000695	0.000151	1.0000	0.0250	0.8708	**0.8293**
7	**25**	0.00083	-0.000842	0.000303	1.0000	0.0250	0.8734	**0.8318**
8	**50**	0.00439	-0.000618	0.000377	1.0000	0.0250	0.8784	**0.8365**
9	**10**	0.00152	-0.000797	0.001513	0.9999	0.0250	0.8615	**0.8205**
10	**10**	0.00500	-0.000583	0.000226	1.0000	0.0250	0.8567	**0.8159**
11	**25**	0.00311	-0.000695	0.000151	1.0000	0.0250	0.8740	**0.8324**
12	**40**	-0.00023	-0.000915	0.000455	0.9999	0.0250	0.8673	**0.8260**

Se determinara la eficiencia del motor de alta eficiencia con base al factor de carga de acuerdo a los datos de las fichas técnicas de motores MAE, véase Anexo G, y a las indicaciones del punto 5.4.3, será necesario interpolar los valores correspondientes para ajustar la eficiencia, se tendrá 3 casos de motores eficientes como se muestra a continuación:

Tabla 6.12 *Cálculo de Eficiencia ajustada de motores NEMA Premium (NPr)*
*(**WEG ELECTRIC MOTORS** Hazardous Locations Three-Phase: Explosion Proof - NEMA Premium)*

N°	P (HP)	Pe (kW)	FCstd	FC1	FC2	n1NPr	n2NPr	n.FC	n op NPr
1	**75**	58.42	0.88	0.75	1.00	**0.941**	**0.941**	0.941	**0.9404**
2	**75**	58.37	0.88	0.75	1.00	**0.941**	**0.941**	0.941	**0.9404**
3	**20**	12.45	0.69	0.50	0.75	**0.910**	**0.917**	0.915	**0.9145**
4	**25**	12.45	0.56	0.50	0.75	**0.917**	**0.920**	0.918	**0.9171**
5	**15**	6.46	0.46	0.25	0.50	**0.910**	**0.910**	0.910	**0.9092**
6	**20**	15.83	0.88	0.75	1.00	**0.917**	**0.917**	0.917	**0.9163**
7	**25**	14.80	0.66	0.50	0.75	**0.917**	**0.924**	0.921	**0.9206**
8	**50**	34.35	0.77	0.75	1.00	**0.936**	**0.941**	0.936	**0.9358**
9	**10**	6.76	0.74	0.50	0.75	**0.885**	**0.895**	0.895	**0.8938**
10	**10**	7.16	0.79	0.75	1.00	**0.895**	**0.902**	0.896	**0.8955**
11	**25**	15.03	0.67	0.50	0.75	**0.917**	**0.940**	0.933	**0.9319**
12	**40**	29.57	0.81	0.75	1.00	**0.936**	**0.936**	0.936	**0.9351**

Tabla 6.13 *Cálculo de Eficiencia ajustada de motores HIGH EFFICIENCY (HEff)*
*(**WEG ELECTRIC MOTORS** Hazardous Locations Three-Phase: Explosion Proof – High Efficiency)*

N°	P (HP)	Pe (kW)	FCstd	FC1	FC2	n1HEff	n2HEff	n.FC	n op HEff
1	**75**	58.42	0.88	0.75	1.00	**0.930**	**0.930**	0.930	**0.9294**
2	**75**	58.37	0.88	0.75	1.00	**0.930**	**0.930**	0.930	**0.9294**
3	**20**	12.45	0.69	0.50	0.75	**0.895**	**0.902**	0.900	**0.8995**
4	**25**	12.45	0.56	0.50	0.75	**0.902**	**0.910**	0.904	**0.9033**
5	**15**	6.46	0.46	0.25	0.50	**0.885**	**0.885**	0.885	**0.8842**
6	**20**	15.83	0.88	0.75	1.00	**0.902**	**0.902**	0.902	**0.9013**
7	**25**	14.80	0.66	0.50	0.75	**0.902**	**0.910**	0.907	**0.9063**
8	**50**	34.35	0.77	0.75	1.00	**0.924**	**0.924**	0.924	**0.9234**
9	**10**	6.76	0.74	0.50	0.75	**0.885**	**0.895**	0.895	**0.8938**
10	**10**	7.16	0.79	0.75	1.00	**0.895**	**0.895**	0.895	**0.8944**
11	**25**	15.03	0.67	0.50	0.75	**0.902**	**0.910**	0.907	**0.9067**
12	**40**	29.57	0.81	0.75	1.00	**0.917**	**0.917**	0.917	**0.9161**

Tabla 6.14 *Cálculo de Eficiencia ajustada de motores PREMIUM EFFICIENCY (PEff)*
*(**WEG ELECTRIC MOTORS** W22 IEEE 841™Petrochem Motors: NEMA Premium ® Efficiency)*

N°	P (HP)	Pe (kW)	FCstd	FC1	FC2	n1PEff	n2PEff	n.FC	n op PEff
1	**75**	58.42	0.88	0.75	1.00	**0.936**	**0.936**	0.936	**0.9354**
2	**75**	58.37	0.88	0.75	1.00	**0.936**	**0.936**	0.936	**0.9354**
3	**20**	12.45	0.69	0.50	0.75	**0.910**	**0.917**	0.915	**0.9145**
4	**25**	12.45	0.56	0.50	0.75	**0.910**	**0.917**	0.912	**0.9110**
5	**15**	6.46	0.46	0.25	0.50	**0.895**	**0.895**	0.895	**0.8942**
6	**20**	15.83	0.88	0.75	1.00	**0.917**	**0.910**	0.913	**0.9127**
7	**25**	14.80	0.66	0.50	0.75	**0.936**	**0.941**	0.939	**0.9384**
8	**50**	34.35	0.77	0.75	1.00	**0.941**	**0.941**	0.941	**0.9404**
9	**10**	6.76	0.74	0.50	0.75	**0.895**	**0.902**	0.902	**0.9009**
10	**10**	7.16	0.79	0.75	1.00	**0.902**	**0.902**	0.902	**0.9014**
11	**25**	15.03	0.67	0.50	0.75	**0.936**	**0.941**	0.939	**0.9387**
12	**40**	29.57	0.81	0.75	1.00	**0.924**	**0.924**	0.924	**0.9231**

Se realizara el cálculo del ahorro de potencia y energía estimada al mes para cada caso con los valores de eficiencia calculados como se muestra en la **Tabla 6.15**.

Tabla 6.15 *Ahorro de potencia y energía por uso de motores MAE*

N°	P (HP)	Eficiencias				AHORRO DE POTENCIA			AHORRO DE ENERGIA		
		n-oper (std)	n-oper NPr	n-oper HEff	n-oper PEff	ΔPE_NPr (kW)	ΔPE_HEff (kW)	ΔPE_PEff (kW)	ΔEE_NPr (kWh -mes)	ΔEE_HEff (kWh-mes)	ΔEE_PEff (kWh-mes)
1	75	0.8418	0.9404	0.9294	0.9354	6.97	6.26	6.65	5,017.51	4,510.50	4,788.53
2	75	0.8419	0.9404	0.9294	0.9354	6.96	6.26	6.64	5,011.82	4,504.82	4,782.85
3	20	0.8245	0.9145	0.8995	0.9145	1.78	1.51	1.78	1,282.24	1,086.35	1,282.24
4	25	0.8272	0.9171	0.9033	0.9110	2.21	1.90	2.07	1,591.27	1,367.58	1,493.23
5	15	0.8057	0.9092	0.8842	0.8942	1.58	1.23	1.37	1,138.34	887.79	989.69
6	20	0.8293	0.9163	0.9013	0.9127	1.71	1.44	1.64	1,229.90	1,034.79	1,183.66
7	25	0.8318	0.9206	0.9063	0.9384	2.16	1.84	2.55	1,557.16	1,327.02	1,833.84
8	50	0.8365	0.9358	0.9234	0.9404	4.73	4.20	4.93	3,406.76	3,021.38	3,547.14
9	10	0.8205	0.8938	0.8938	0.9009	0.75	0.75	0.81	536.85	536.85	584.21
10	10	0.8159	0.8955	0.8944	0.9014	0.81	0.80	0.87	585.17	577.79	624.43
11	25	0.8324	0.9319	0.9067	0.9387	2.39	1.84	2.54	1,722.40	1,321.92	1,826.78
12	40	0.8260	0.9351	0.9161	0.9231	4.21	3.55	3.80	3,034.72	2,558.19	2,736.04
					Total	**36.27**	**31.58**	**35.66**	**26,114.14**	**22,734.99**	**25,672.63**

6.4.2 Evaluación de variadores de velocidad

6.4.2.1 Variadores de Velocidad

Se calcula el ahorro energético por el uso de variadores de velocidad respecto a la regulación por válvulas de estrangulamiento, haciendo las siguientes consideraciones:

1. Regulación al 80% del caudal de operación.
2. Para el consumo, el tiempo de regulación estará dado cada 8 horas durante 15 días al mes.
3. la bomba se utilizara para la circulación y distribución del fluido por lo que para los cálculos se despreciara la altura geodésica o estática de elevación.

En la Tabla 6.16 se presenta los parámetros de operación[22] de la bomba del sistema para cada bomba.

Tabla 6.16 *Parámetros de operación de la bombas*

FLUIDO	% VOL	Pn (HP)	G.E.	Q (GPM)	H (Feet)	Volumen (MBPD)
Crudo	100	75	0.95	750	298	51.43
Crudo	100	75	0.95	750	298	5.14
Gasolina	10	20	0.68	150	290	6.69
Nafta	13	25	0.76	195	256	3.60
Keroseno (DPM)	7	15	0.80	105	209	5.14
Diésel	10	20	0.87	150	290	5.14
Res. A.	10	25	0.98	150	270	25.71
Res. A. - Carga	50	50	0.98	750	160	25.71
GOL	5	10	0.85	75	228	2.57
GOP	5	10	0.90	75	228	2.57
Asfalto	10	25	1.00	150	270	5.14
Residual V.	30	40	1.02	450	210	51.43

Se realizara la evaluación tomando como ejemplo un caso, para ello se requiere reducir el caudal del producto gasóleo liviano (GOL), que opera a un caudal de 75 galones por minuto (GPM) con una altura del sistema de 228 pies, ver **Tabla 6.16**.

Se utilizaran las curvas características de las bombas GOULDS PUMPS, intersectando en la curva característica de esta bomba, Figura 6.9, se obtiene la eficiencia de la bomba para este caso 49.8% y con la eficiencia del motor 82.05% obtenida en la **Tabla 6.11** se calcula la potencia eléctrica de esta bomba.

[22] *Ídem (17).*

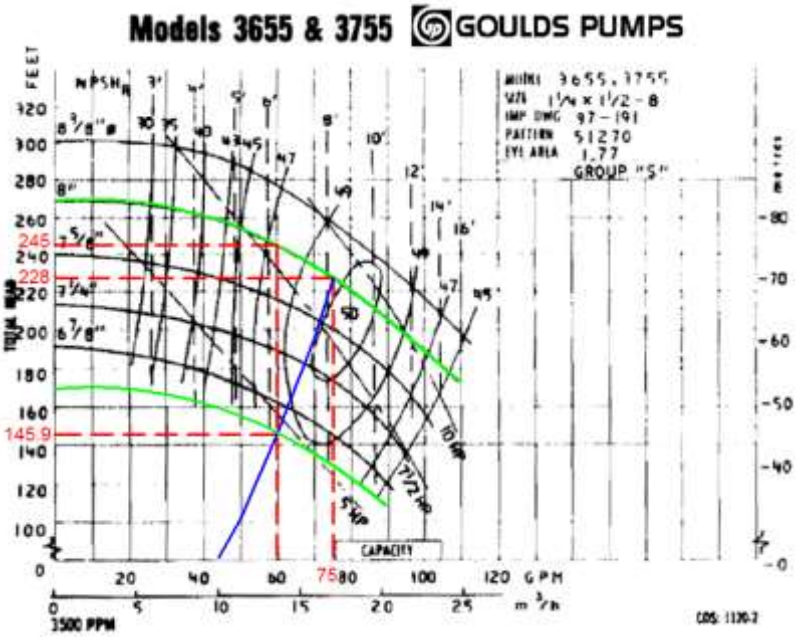


Figura 6.9 *Curva característica - bomba de 10 HP*
(*Goulds Pumps 3655/3755*)

Utilizando la ecuación 5.18 se tiene:

$$P_N = \frac{(75)(228)(0.85)}{3960\ (0.498)(0.8205)} = 8.98\ \text{HP} = 6.70\ \text{kW}$$

En la regulación por estrangulamiento al 80%, el caudal es de 60 GPM, intersectando en la curva se obtiene la nueva altura de 245 pies con una eficiencia de la bomba del 47.5% aproximadamente, calculando la potencia:

$$P_{ES} = \frac{(60)(245)(0.85)}{3960\ (0.475)(0.8205)} = 8.10\ \text{HP} = 6.04\ \text{kW}$$

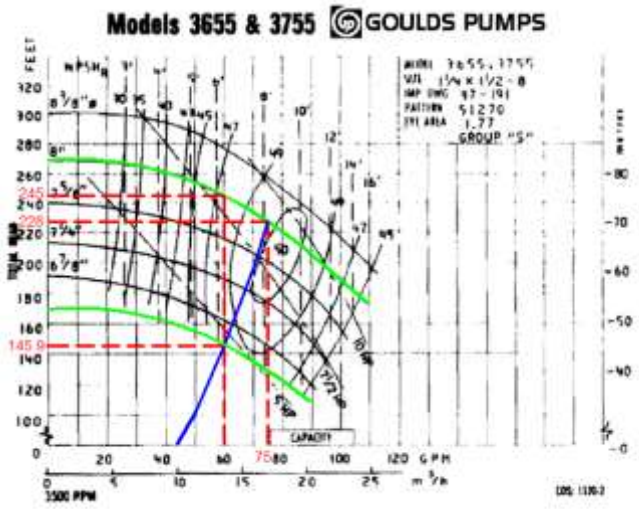
En la regulación por variación de velocidad (VSD) al 80%, el caudal es de 60 GPM, intersectando en la curva se obtiene la nueva altura de 145.9 pies con una eficiencia de la bomba del 47.0% aproximadamente, calculando la potencia:

$$P_{VV} = \frac{(60)(145.9)(0.85)}{3960\ (0.47)(0.8205)} = 4.87\ \text{HP} = 3.63\ \text{kW}$$

Se obtiene un ahorro de potencia de 2.40 kW y un ahorro de consumo de 288.5 kWh-mes, entonces evaluando para cada caso se tendrá:

1. Bomba de 10HP

Fluido: GOL

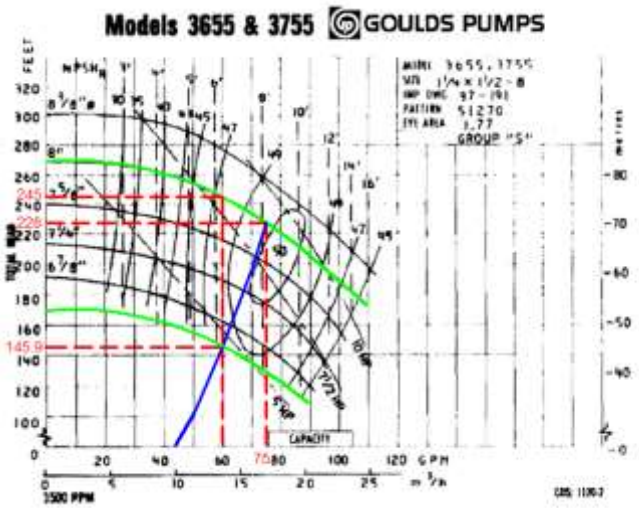


BOMBA 10 HP		Fluido: GOL	
Parametros	Operación Nominal	Regulación Estrang.	Regulación VSD
Q (GPM)	75.0	60.0	60.0
H (Pies)	228.0	245.0	145.9
G.E.	0.85	0.85	0.85
nb(%)	49.8	47.5	47.0
nm(%)	82.05	82.05	82.05
Pe(HP)	8.98	8.10	4.87
Pe(kW)	6.70	6.04	3.63
AP(kW)			**2.40**
AE(kWh)			**288.56**

Figura 6.10 *Regulación de caudal para GOL - bomba de 10 HP*
(*Goulds Pumps 3655/3755*)

2. Bomba de 10HP

Fluido: GOP

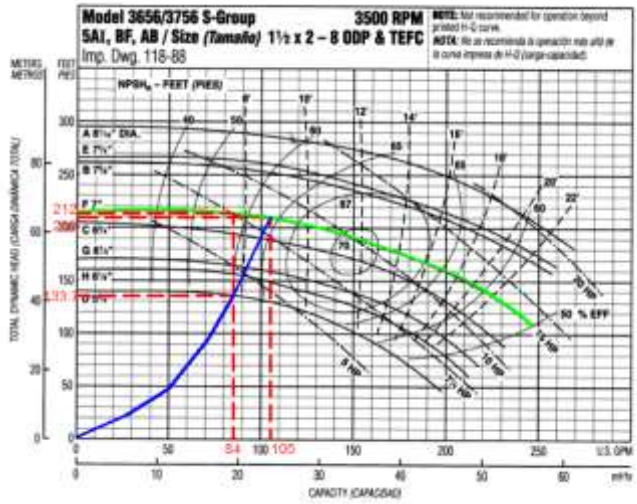


BOMBA 10 HP		Fluido: GOP	
Parametros	Operación Nominal	Regulación Estrang.	Regulación VSD
Q (GPM)	75.0	60.0	60.0
H (Pies)	228.0	245.0	145.9
G.E.	0.9	0.9	0.9
nb(%)	49.8	47.5	47.0
nm(%)	81.59	81.59	81.59
Pe(HP)	9.56	8.62	5.19
Pe(kW)	7.14	6.43	3.87
AP(kW)			**2.56**
AE(kWh)			**307.26**

Figura 6.11 *Regulación de caudal para GOP - bomba de 10 HP*
(*Goulds Pumps 3655/3755*)

3. Bomba de 15HP

Fluido: Keroseno (DPM)

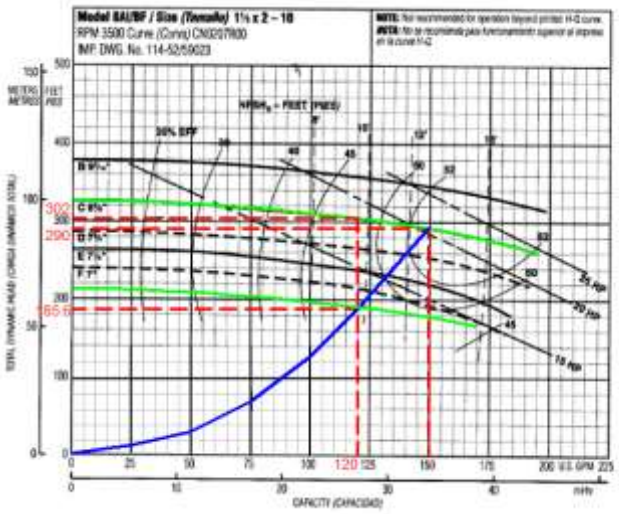


BOMBA 15 HP		Fluido: Keroseno (DPM)	
Parametros	Operación Nominal	Regulación Estrang.	Regulación VSD
Q (GPM)	105.0	84.0	84.0
H (Pies)	209.0	212.0	133.7
G.E.	0.8	0.8	0.8
nb(%)	64	58	60.0
nm(%)	80.57	80.57	80.57
Pe(HP)	8.60	7.70	4.69
Pe(kW)	6.41	5.74	3.50
AP(kW)			**2.24**
AE(kWh)			**269.03**

Figura 6.12 *Regulación de caudal para Kersoseno (DPM) - bomba de 15 HP*
(*Goulds Pumps 3656/3756*)

4. Bomba de 20HP

Fluido: Gasolina

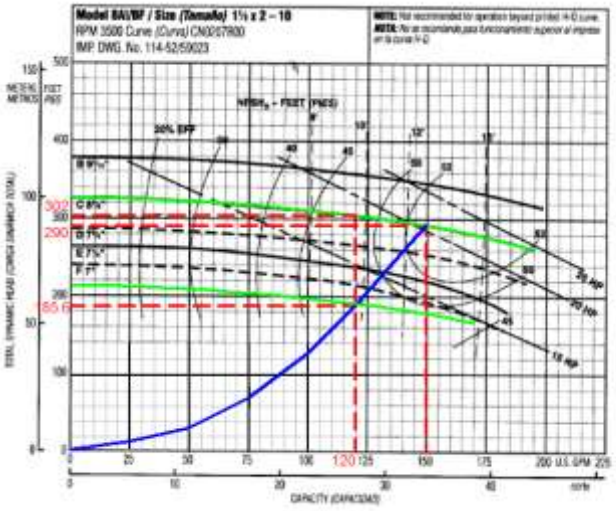


BOMBA 20 HP		Fluido: Gasolina	
Parametros	Operación Nominal	Regulación Estrang.	Regulación VSD
Q (GPM)	150.0	120.0	120.0
H (Pies)	290.0	302.0	185.6
G.E.	0.68	0.68	0.68
nb(%)	54	48	48.0
nm(%)	82.45	82.45	82.45
Pe(HP)	16.78	15.72	9.66
Pe(kW)	12.52	11.73	7.21
AP(kW)			**4.52**
AE(kWh)			**542.55**

Figura 6.13 *Regulación de caudal para Gasolina - bomba de 20 HP*
(*Goulds Pumps 3656/3756*)

5. Bomba de 20HP

Fluido: Diésel

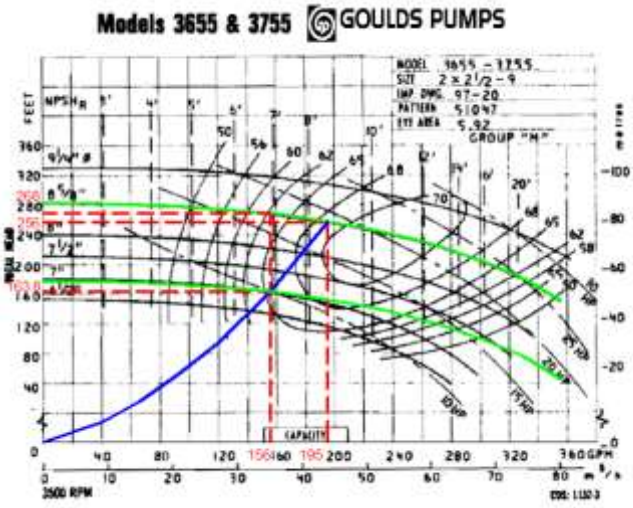


BOMBA 20 HP		Fluido: Diesel	
Parametros	Operación Nominal	Regulación Estrang.	Regulación VSD
Q (GPM)	150.0	120.0	120.0
H (Pies)	290.0	302.0	185.6
G.E.	0.87	0.87	0.87
nb(%)	54	48	48.0
nm(%)	82.45	82.45	82.45
Pe(HP)	21.46	20.12	12.36
Pe(kW)	16.01	15.01	9.22
AP(kW)			**5.78**
AE(kWh)			**694.14**

Figura 6.14 *Regulación de caudal para Diésel - bomba de 20 HP*
(*Goulds Pumps 3656/3756*)

6. Bomba de 25HP

Fluido: Nafta

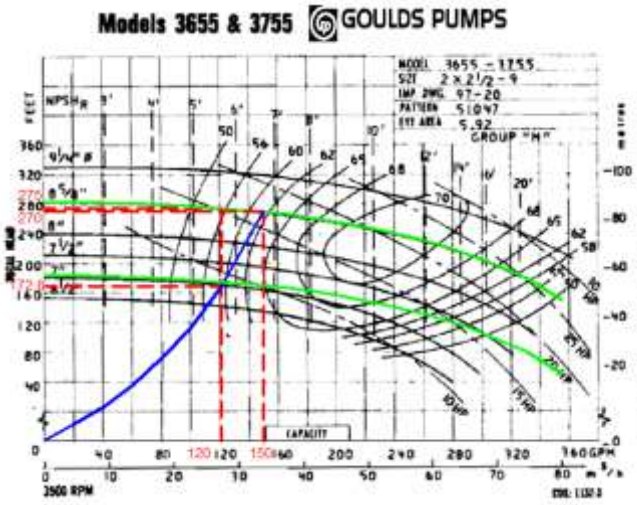


BOMBA 25 HP		Fluido: Nafta	
Parametros	Operación Nominal	Regulación Estrang.	Regulación VSD
Q (GPM)	195.0	156.0	156.0
H (Pies)	256.0	268.0	163.8
G.E.	0.76	0.76	0.76
nb(%)	69	63	66.0
nm(%)	82.72	82.72	82.72
Pe(HP)	16.79	15.40	8.98
Pe(kW)	12.52	11.49	6.70
AP(kW)			**4.78**
AE(kWh)			**574.19**

Figura 6.15 *Regulación de caudal para Nafta - bomba de 25 HP*
(*Goulds Pumps 3655/3755*)

7. Bomba de 25HP

Fluido: Residual A.

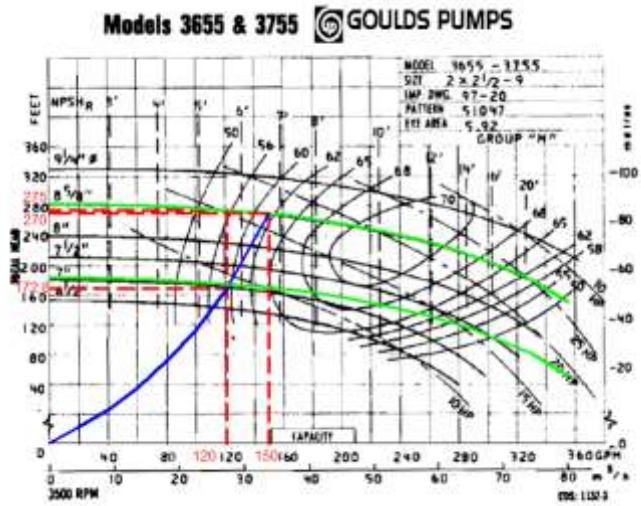


BOMBA 25 HP		Fluido: Residual	
Parametros	Operación Nominal	Regulación Estrang.	Regulación VSD
Q (GPM)	150.0	120.0	120.0
H (Pies)	270.0	275.0	172.8
G.E.	0.98	0.98	0.98
nb(%)	61	54	58.0
nm(%)	83.18	83.18	83.18
Pe(HP)	19.75	18.18	10.64
Pe(kW)	14.74	13.56	7.94
AP(kW)			**5.63**
AE(kWh)			**675.42**

Figura 6.16 *Regulación de caudal para Residual A. - bomba de 25 HP*
(*Goulds Pumps 3655/3755*)

8. Bomba de 25HP

Fluido: Asfalto

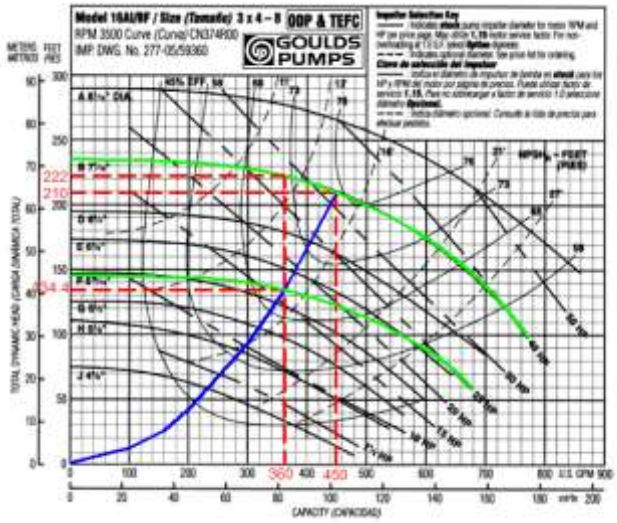


BOMBA 25 HP		Fluido: Asfalto	
Parametros	Operación Nominal	Regulación Estrang.	Regulación VSD
Q (GPM)	150.0	120.0	120.0
H (Pies)	270.0	275.0	172.8
G.E.	1.00	1.00	1.00
nb(%)	61	54	58.0
nm(%)	83.24	83.24	83.24
Pe(HP)	20.14	18.54	10.85
Pe(kW)	15.03	13.83	8.09
AP(kW)			**5.74**
AE(kWh)			**688.70**

Figura 6.17 *Regulación de caudal para Asfalto - bomba de 25 HP*
(*Goulds Pumps 3655/3755*)

9. Bomba de 40HP

Fluido: Residual V. (Fondos V.)

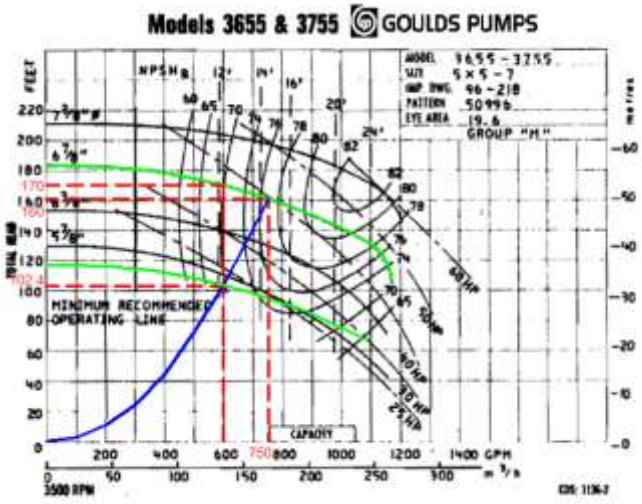


BOMBA 40 HP		Fluido: Residual V.	
Parametros	Operación Nominal	Regulación Estrang.	Regulación VSD
Q (GPM)	450.0	360.0	360.0
H (Pies)	210.0	222.0	134.4
G.E.	1.02	1.02	1.02
nb(%)	75	74	70.0
nm(%)	82.6	82.6	82.6
Pe(HP)	39.29	33.68	21.55
Pe(kW)	29.31	25.12	16.08
AP(kW)			**9.04**
AE(kWh)			**1085.35**

Figura 6.18 *Regulación de caudal para Residual V. (Fondos V.) - bomba de 40 HP* (*Goulds Pumps 3665/3765*)

10. Bomba de 50HP

Fluido: Crudo reducido

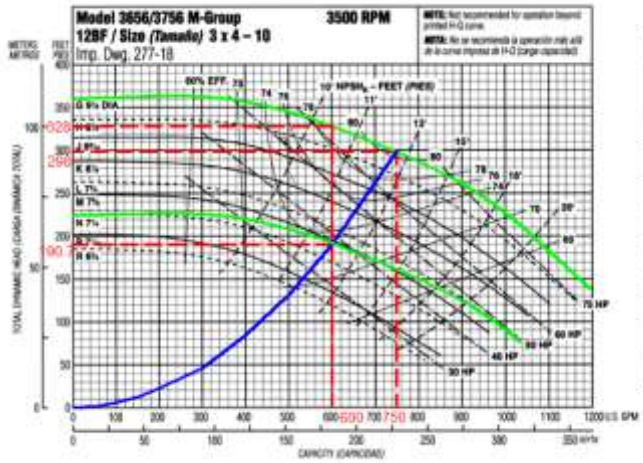


BOMBA 50 HP		Fluido: Crudo Reducido	
Parametros	Operación Nominal	Regulación Estrang.	Regulación VSD
Q (GPM)	750.0	600.0	600.0
H (Pies)	160.0	170.0	102.4
G.E.	0.98	0.98	0.98
nb(%)	77	70	68.0
nm(%)	83.65	83.65	83.65
Pe(HP)	46.11	43.11	26.73
Pe(kW)	34.39	32.16	19.94
AP(kW)			**12.22**
AE(kWh)			**1,466.19**

Figura 6.19 *Regulación de caudal para Crudo reducido - bomba de 50 HP* (*Goulds Pumps 3655/3755*)

11. Bomba de 75HP

Fluido: Crudo



BOMBA 75 HP		Fluido: Crudo	
Parametros	Operación Nominal	Regulación Estrang.	Regulación VSD
Q (GPM)	750.0	600.0	600.0
H (Pies)	298.0	328.0	190.7
G.E.	0.95	0.95	0.95
nb(%)	81	79	72.0
nm(%)	84.18	84.18	84.18
Pe(HP)	78.63	70.99	45.29
Pe(kW)	58.66	52.96	33.79
AP(kW)			**19.18**
AE(kWh)			**2,301.09**

Figura 6.20 *Regulación de caudal para Crudo - bomba de 75 HP*
(*Goulds Pumps 3656/3756*)

De los calculos previos se obtiene la **Tabla 6.17**, indicando los ahorro de potencia y consumo:

Tabla 6.17 *Ahorro de potencia y energía por uso de variadores de velocidad (VSD)*

N°	P (HP)	Pe (kW)	REGULACIÓN		AHORRO DE POTENCIA			AHORRO DE ENERGIA		
			Estran. Pe (kW)	VSD Pe (kW)	ΔPe_Estr. (kW)	ΔPe_VSD (kW)	ΔPeE-VSD (kW)	ΔEe_Estr. (kWh-mes)	ΔEe_VSD. (kWh-mes)	ΔEe_E-VSD (kWh-mes)
1	75	58.66	52.96	33.79	5.70	24.87	19.17	684.00	2,984.40	**2,300.40**
2	75	58.66	52.96	33.79	5.70	24.87	19.17	684.00	2,984.40	**2,300.40**
3	20	12.52	11.73	7.21	0.79	5.31	4.52	94.80	637.20	**542.40**
4	25	12.52	11.49	6.70	1.03	5.82	4.79	123.60	698.40	**574.80**
5	15	6.41	5.74	3.50	0.67	2.91	2.24	80.40	349.20	**268.80**
6	20	16.01	15.01	9.22	1.00	6.79	5.79	120.00	814.80	**694.80**
7	25	14.74	13.56	7.94	1.18	6.80	5.62	141.60	816.00	**674.40**
8	50	34.39	32.16	19.94	2.23	14.45	12.22	267.60	1,734.00	**1,466.40**
9	10	6.70	6.04	3.63	0.66	3.07	2.41	79.20	368.40	**289.20**
10	10	7.14	6.43	3.87	0.71	3.27	2.56	85.20	392.40	**307.20**
11	25	15.03	13.83	8.09	1.20	6.94	5.74	144.00	832.80	**688.80**
12	40	29.31	25.12	16.08	4.19	13.23	9.04	502.80	1,587.60	**1,084.80**
Total					25.06	118.33	93.27	3,007.20	14,199.60	**11,192.40**

6.4.3 Evaluación de compensación reactiva

6.4.3.1 Compensación Reactiva

Se realizara la reducción de potencia reactiva, por uso de banco de condensadores, determinando la capacidad del banco necesaria.

De la información de la factura eléctrica, **Tabla 6.2**, se tiene:

La energía activa total:

$$EA = E_{HP} + E_{FP}$$

$$EA = 73{,}950.00 + 309{,}140.00 = 383{,}090.00\ kWh$$

La energía reactiva total:

$$ER = 237{,}418.00\ kVARh$$

La relación actual de energía activa y reactiva:

$$Tg\emptyset_1 = \frac{237{,}418.00}{383{,}090.00} = 0.61$$

El factor de potencia (fdp) global estará dado por la ecuación (5.19):

$$cos\emptyset_1 = (Tg^{-1}(0.61)) = 0.85$$

El consumo a facturar (>30%EA) [23]

$$\Delta ER = 237{,}418.00 - 0.3 * 383{,}090.00$$

$$\Delta ER = 122{,}491.00\ kVAR$$

La nueva relación de energía activa y reactiva será tal que el nuevo factor de potencia será de 0.97, véase el punto 5.6:

$$cos\emptyset_2 = 0.97$$

$$Tg\left(cos^{-1}(\emptyset_2)\right) = 0.2506$$

---

[23] *MINEM, 2011 "Guía de Orientación para la Selección de la Tarifa Eléctrica para Usuarios de Media Tensión"/ P.14*

La capacidad requerida por el banco está dada por la ecuación (5.20):

$$Q_C = P(Tg\emptyset_1 - Tg\emptyset_2)$$

La potencia será la máxima de la demanda en hora punta o fuera de punta de la Tabla 6.2, en este caso, se considera:

$$P = 850\ kW$$

Evaluando en la ecuación, se tiene:

$$Q_C = 850 * (0.61 - 0.2506)$$

$$Q_C = 305.5\ kVAR$$

Por lo que se requiere un banco de condensadores tipo global de una capacidad de 305.5 kVAR.

6.4.3.2 Método práctico

Para mejorar el factor de potencia de la instalación se multiplicara la potencia activa por el factor de corrección, el cual se hallara intersectando la fila $cos\emptyset_1$=0.85 (antes de la corrección) con la columna $cos\emptyset_2$=0.97 (después de la corrección), véase Anexo K, considerando la demanda de potencia de 850 kW se tendrá:

$$Q_C = 850\ (0.369)$$

$$Q_C = 313.65\ kVAR$$

6.4.3.3 Reducción de pérdidas en los conductores

Se determinara la reducción de pérdidas utilizando la ecuación 5.21:

$$\%\ Reduccion\ de\ perdidas = 100\left(1 - \left(\frac{0.85}{0.97}\right)^2\right)$$

$$\%\ Reduccion\ de\ perdidas = 23.21\%$$

CAPITULO VII

ANALISIS DE RESULTADOS

Este breve capítulo presenta el análisis de todos los resultados con el fin de ver la viabilidad en una futura implementación de las mejoras y de un programa de eficiencia energética en base al monitoreo y control de los energéticos en la planta de procesos de la refinería de petróleo.

7.1 Análisis de resultados

En base a los resultados obtenidos en el capítulo VI se presentan los ahorros energéticos y ambientales estimados.

7.1.1 Ahorro energético estimado

7.1.1.1 Consumo eléctrico

En la sección 6.3.1 se indicaba que se debe corregir el factor de calificación para ser usuario presente fuera de punta (HFP), para ello una opción era reducir el consumo de la hora punta en un 22.92 % (16,950.00 kWh), al evaluar los ahorros de consumo por reemplazo de motores MAE, **Tabla 6.15**, se observa favorablemente que en todos los casos se obtiene un factor de calificación menor a 0.5 con la misma demanda como se observa en la Tabla 7.1

Tabla 7.1 *Corrección del Factor de calificación*

N°	CONDICION	F.C.	kW_MAX	kWh_HP	Ahorro (kWh)
1	Condición Inicial	0.669	850.00	73,950.00	-
2	Condición Propuesta	0.498	880.00	57,000.00	16,950.00
3	Uso de motores NEMA pre.	**0.433**	**850.00**	**47,835.86**	**26,114.14**
4	Uso de motores High. Eff.	**0.463**	**850.00**	**51,215.01**	**22,734.99**
5	Uso de motores Pre. Eff	**0.437**	**850.00**	**48,277.37**	**25,672.63**

7.1.1.2 Motores de Alta eficiencia

El ahorro energético estimado estará dado principalmente por el reemplazo de motores de alta eficiencia (MAE) y por el uso de variadores de velocidad (VSD), indicados en la **Tabla 6.15** y **Tabla 6.17** respectivamente, por ello se evalúa las principales condiciones mostradas a continuación.

Para empezar se determinara las pérdidas por consumo actuales que representa los motores en condiciones normales de operación con la información de potencia eléctrica consumida, **Tabla 6.8**, la eficiencia calculada en la **Tabla 6.11**, y para un tiempo de operación de 8040 horas por año aproximadamente, utilizando la ecuación 7.1, se obtiene la **Tabla 7.2**:

$$Perdidas = \big(Pelec(1 - nop)\big)(8040) \ \ [\text{kWh/año}] \tag{7.1}$$

Tabla 7.2 *Perdidas de energía en motores (kWh/año)*

N°	Aplicación	Tag	Factor de carga (%)	Pelec (kW)	nop	Pmec (kW)	Perdidas (kW)	Perdidas (kWh/año)
1	Bomba	B-C1	0.88	58.42	0.8418	49.18	9.24	74,306.03
2	Bomba	B-C2	0.88	58.37	0.8419	49.14	9.23	74,195.51
3	Bomba	B-G1	0.69	12.45	0.8245	10.27	2.18	17,567.20
4	Bomba	B-N1	0.56	12.45	0.8272	10.30	2.15	17,296.93
5	Bomba	B-K1	0.46	6.46	0.8057	5.20	1.26	10,091.63
6	Bomba	B-D1	0.88	15.83	0.8293	13.13	2.70	21,725.54
7	Bomba	B-R1	0.66	14.8	0.8318	12.31	2.49	20,014.45
8	Bomba	B-C3	0.77	34.35	0.8365	28.73	5.62	45,154.45
9	Bomba	B-G2	0.74	6.76	0.8205	5.55	1.21	9,755.90
10	Bomba	B-G3	0.79	7.16	0.8159	5.84	1.32	10,597.97
11	Bomba	B-A2	0.67	15.03	0.8324	12.51	2.52	20,252.99
12	Bomba	B-R2	0.81	29.57	0.8260	24.42	5.15	41,367.25
							Total	**362,325.85**

Se obtiene en pérdidas por consumo de los motores eléctricos 362,325.85 kWh/año que aproximadamente representa el 7.3% del consumo anual total consumido por la refinería (4,935,340.00 kWh/año), **Tabla 6.1**, y 12.90 % del consumo anual total de los motores (2,807,737.00 kWh/año), Sección 6.3.3.

Se determina el ahorro por consumo anual con la información de la, **Tabla 6.15**.

Tabla 7.3 *Ahorro energético estimado motores NEMA Premium (kWh/Año)*

N°	Aplicación	Tag	Cons. Actual (kWh/año)	Cons. Estim. (kWh/año)	Ahorro (kWh/año)	% Ahorro
1	Bomba	B-C1	534,376.34	478,347.51	56,028.82	10.48
2	Bomba	B-C2	534,312.86	478,347.51	55,965.35	10.47
3	Bomba	B-G1	145,490.36	131,172.01	14,318.35	9.84
4	Bomba	B-N1	181,269.34	163,500.16	17,769.18	9.80
5	Bomba	B-K1	111,663.89	98,952.49	12,711.41	11.38
6	Bomba	B-D1	144,648.26	130,914.33	13,733.93	9.49
7	Bomba	B-R1	180,266.89	162,878.56	17,388.33	9.65
8	Bomba	B-C3	358,508.07	320,465.91	38,042.16	10.61
9	Bomba	B-G2	73,099.82	67,104.95	5,994.87	8.20
10	Bomba	B-G3	73,511.95	66,977.55	6,534.40	8.89
11	Bomba	B-A2	180,136.95	160,903.53	19,233.42	10.68
12	Bomba	B-R2	290,452.30	256,564.65	33,887.65	11.67
Total			**2,807,737.03**	**2,516,129.15**	**291,607.88**	**10.39**

7.1.1.3 Variadores de velocidad (VSD)

Se determina el ahorro por consumo anual con la información de la, **Tabla 6.17**.

Tabla 7.4 *Ahorro energético estimado variadores de velocidad (VSD) (kWh/Año)*

N°	Aplicación	Tag	Cons. Estim. (kWh/año)	Cons. Estim. (kWh/año)	Ahorro (kWh/año)	% Ahorro
1	Bomba	B-C1	76,262.40	48,657.60	27,604.80	36.20
2	Bomba	B-C2	76,262.40	48,657.60	27,604.80	36.20
3	Bomba	B-G1	16,891.20	10,382.40	6,508.80	38.53
4	Bomba	B-N1	16,545.60	9,648.00	6,897.60	41.69
5	Bomba	B-K1	8,265.60	5,040.00	3,225.60	39.02
6	Bomba	B-D1	21,614.40	13,276.80	8,337.60	38.57
7	Bomba	B-R1	19,526.40	11,433.60	8,092.80	41.45
8	Bomba	B-C3	46,310.40	28,713.60	17,596.80	38.00
9	Bomba	B-G2	8,697.60	5,227.20	3,470.40	39.90
10	Bomba	B-G3	9,259.20	5,572.80	3,686.40	39.81
11	Bomba	B-A2	19,915.20	11,649.60	8,265.60	41.50
12	Bomba	B-R2	36,172.80	23,155.20	13,017.60	35.99
Total			**355,723.20**	**221,414.40**	**134,308.80**	**37.76**

7.1.2 Ahorro económico estimado

El ahorro económico está orientado principalmente a los proyectos que requieren inversión, para este caso el reemplazo de motores MAE, uso de variadores de velocidad y banco de condensadores.

El costo de energía por kWh de la planta se determina con los datos de costo y consumo anual de la **Tabla 6.1**:

$$\text{costo} = \frac{1{,}290{,}427.46}{4{,}935{,}340.00} = 0.26\ \text{S/./kWh}$$

7.1.2.1 Motores MAE

El ahorro económico se calcula con el ahorro energético de la **Tabla 7.3** y el costo de energía, el retorno de inversión (RI) se determina con el costo de implementación según lo indicado en la sección 5.7.dado por el costo del equipo, Véase Anexo G.

Tabla 7.5 *Ahorro económico estimado motores NEMA Premium (S/./Año)*

N°	P (HP)	Tag	Ahorro E. (S/.Año)	Costo ($)	Costo[24] (S/.)	R.I. (Año)
1	75	B-C1	14,567.49	11,285.00	31,372.30	2.15
2	75	B-C2	14,550.99	11,285.00	31,372.30	2.16
3	20	B-G1	3,722.77	3,083.00	8,570.74	2.30
4	25	B-N1	4,619.99	4,188.00	11,642.64	2.52
5	15	B-K1	3,304.97	2,490.00	6,922.20	2.09
6	20	B-D1	3,570.82	3,083.00	8,570.74	2.40
7	25	B-R1	4,520.97	4,188.00	11,642.64	2.58
8	50	B-C3	9,890.96	6,582.00	18,297.96	1.85
9	10	B-G2	1,558.67	1,803.00	5,012.34	3.22
10	10	B-G3	1,698.94	1,803.00	5,012.34	2.95
11	25	B-A2	5,000.69	4,188.00	11,642.64	2.33
12	40	B-R2	8,810.79	5,583.00	15,520.74	1.76
		Total	**75,818.05**	**59,561.00**	**165,579.58**	-

[24] *Se utiliza el tipo de cambio de S/.2.78, para fecha Julio - 2014.*

7.1.2.2 Variadores de velocidad (VSD)

Se calcula igual al punto 7.1.2.1, para los equipos se evaluara el costo de los modelos SINAMICS GP120 - SIEMENS y ACS550.01- ABB, Véase los Anexos H e I.

Tabla 7.6 *Ahorro económico estimado Variadores de velocidad (VSD) (S/./Año)*

N°	P (HP)	Tag	Ahorro E. (S/.Año)	Siemens Costo (S/.)	ABB Costo (S/.)	Siemens R.I. (Año)	ABB R.I. (Año)
1	75	B-C1	7,177.25	23,438.00	17,073.00	3.27	2.38
2	75	B-C2	7,177.25	23,438.00	17,073.00	3.27	2.38
3	20	B-G1	1,692.29	7,325.00	6,074.00	4.33	3.59
4	25	B-N1	1,793.38	8,984.00	6,978.00	**5.01**	3.89
5	15	B-K1	838.66	5,664.00	4,714.00	6.75	**5.62**
6	20	B-D1	2,167.78	7,325.00	6,074.00	3.38	2.80
7	25	B-R1	2,104.13	8,984.00	6,978.00	4.27	3.32
8	50	B-C3	4,575.17	16,407.00	11,569.00	3.59	2.53
9	10	B-G2	902.30	4,199.00	3,971.00	4.65	4.40
10	10	B-G3	958.46	4,199.00	3,971.00	4.38	4.14
11	25	B-A2	2,149.06	8,984.00	6,978.00	4.18	3.25
12	40	B-R2	3,384.58	13,379.00	9,601.00	3.95	2.84
		Total	**34,920.29**	**132,326.00**	**101,054.00**		

7.1.2.3 Banco de condensadores

La compensación reactiva se calculara en función de la capacidad del banco calculado en el punto 6.4.3, del cual se obtienen dos valores 305.5 kVAR y 313.65 kVAR, por lo que se elige el inmediato superior que este normado, para este caso 320 kVAR a tensión 440 V, Véase el Anexo J, el cual presenta un costo de S/. 31,335.00.

El ahorro económico estará dado por a diferencia en el ahorro del plan tarifario, **Tabla 6.5**.

$$\text{Ahorro Economico} = 102{,}002.63 - 86{,}455.36$$

$$\text{Ahorro Economico} = \mathbf{S/.\,15{,}547.27}$$

Utilizando la ecuación 5.25, se calcula el retorno de inversión:

$$\text{R. I.} = \frac{31{,}335.00}{15{,}547.27} = 2.01 \text{ años}$$

7.1.3 Ahorro ambiental estimado

La reducción de kWh evita la producción de CO_2 (0.547 CO_2 / kWh)[25], para este punto se calcular el ahorro ambiental producido por el ahorro energético por el reemplazo de motores MAE y el uso de variadores de velocidad (VSD).

Tabla 7.7 *Ahorro ambiental estimado (ton CO_2/Año)*

N°	P (HP)	Aplicación	Tag	Ahorro MAE (kWh/año)	Ahorro VSD (kWh/año)	Ahorro Total (kWh/año)	Ahorro Ambiental tonCO2/año
1	1	Bomba	B-C1	56,028.82	27,604.80	83,633.62	45.75
2	2	Bomba	B-C2	55,965.35	27,604.80	83,570.15	45.71
3	3	Bomba	B-G1	14,318.35	6,508.80	20,827.15	11.39
4	4	Bomba	B-N1	17,769.18	6,897.60	24,666.78	13.49
5	5	Bomba	B-K1	12,711.41	3,225.60	15,937.01	8.72
6	6	Bomba	B-D1	13,733.93	8,337.60	22,071.53	12.07
7	7	Bomba	B-R1	17,388.33	8,092.80	25,481.13	13.94
8	8	Bomba	B-C3	38,042.16	17,596.80	55,638.96	30.43
9	9	Bomba	B-G2	5,994.87	3,470.40	9,465.27	5.18
10	10	Bomba	B-G3	6,534.40	3,686.40	10,220.80	5.59
11	11	Bomba	B-A2	19,233.42	8,265.60	27,499.02	15.04
12	12	Bomba	B-R2	33,887.65	13,017.60	46,905.25	25.66
			Total	**291,607.88**	**134,308.80**	**425,916.68**	**232.98**

7.1.4 Análisis económico- financiero

El análisis económico financiero se realizara para aquello equipos en los que los retornos de inversión salieron mayores o iguales a 5 años como se indica la sección 5.7.2.

7.1.4.1 Variador de velocidad de 15 HP (VSD)

Utilizando la ecuación 5.28, con el valor anual A = 838.66:

$$\frac{P}{A} = \frac{(1+0.12)^{10}-1}{0.12(1+0.12)^{10}} = 5.65$$

$$P = 5.65(838.66) = 4738.43$$

[25] *Tomado del IPCC (Panel Intergubernamental para el Cambio Climático). http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/*

$$P = 5.65(838.66) = 4738.43$$

Se obtiene que el ahorro anual de S/. 838.66, durante un periodo de 10 años con una tasa de 12 % equivale en el tiempo presenta a S/. 4738.43 (> S/. 4,714.00)

7.1.4.2 Variador de velocidad de 25 HP (VSD)

Utilizando la ecuación 5.28, con el valor anual A = 1,793.38:

$$\frac{P}{A} = \frac{(1+0.12)^9 - 1}{0.12(1+0.12)^9} = 5.32$$

$$P = 5.32(1{,}793.38) = 0.11$$

Se obtiene que el ahorro anual de S/. 1,793.38, durante un periodo de 9 años con una tasa de 12 % equivale en el tiempo presenta a S/. 9555.57 (> S/. 8,984.00)

7.2 RESUMEN

Se presenta a modo de resumen los ahorros estimados en las secciones previas:

Tabla 7.7 *Resumen de ahorros por mejoras planteadas*

N°	proyecto	Descripción	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro económico (S/./año)	Ahorro ambiental ($TonCO_2$/año)	Porcentaje (%) Ahorro energético	
						Motores	Refinería
1	Consumo eléctrico	Tarifa eléctrica (MT3)	-	-	-	-	-
2		Factor de calificación (F.C.<0.5)	313,369.68	**133,798.08**	171.41	11.16	6.35
3		Arranque de motores					
3	Motores de alta eficiencia (MAE)	Motores NEMA PREMIUM (**IE3**)	**291,607.88**	**75,818.05**	**159.51**	**10.39**	**5.91**
4		Motores HIGH EFFICIENCY (**IE2**)	*253,874.07*	*66,007.26*	*138.87*	*9.04*	*5.14*
5		Motores PREMIUM EFFICIENCY (**IE3**)	*286,677.70*	*74,536.20*	*156.81*	*10.21*	*5.81*
6	Variador de velocidad (VSD)	Regulación de caudal	**134,308.80**	**34,920.29**	**73.47**	**4.78**	**2.72**
8	Compensación reactiva	Banco de condensadores	-	**15,547.27**	-	**-**	**-**
Total			**425,916.68**	**260,083.69**	**232.98**	**15.17**	**8.63**

OBSERVACIONES

- Los porcentajes de ahorro energético pueden variar de una refinería a otra; el ahorro energético potencial estimado en la sección 3.1 de la Guía N°10 DGE.MINEM [10] es equivalente al 14 % del total consumido, ya que involucra a todos los equipos eléctricos en comparación a la evaluación realizada el cual llega al 8.63 % (Tabla 7.7) ya que solo se evaluó al grupo principal e importante de todos los motores con los que cuenta una refinería de petróleo.
- Para los parámetros eléctricos mostrados en la Tabla 6.4, se está tomando valores promedios de un registro de mediciones de un día típico, ya que para una mayor exactitud en los cálculos se necesitaría contar con el promedio de los parámetros tomados de los diagramas de carga de una semana o mes típico de cada motor.
- Para el cálculo de la eficiencia se utiliza un método práctico basado en la corrección de la eficiencia por factores de operación, que tiene un margen de error medio pero aceptable, así mismo se le aplica un factor de seguridad ya que la eficiencia de placa es ensayada en un laboratorio a condiciones diferentes a las que trabajara.
- Los ahorros obtenidos por el uso de variadores de velocidad (VSD) son aproximados, ya que la regulación de caudal de los productos de petróleo en condiciones de operación son variables y dependen específicamente de los requerimientos de las áreas de procesos, operaciones y/o despacho de ventas.
- A fin de promover el uso eficiente de la energía se recomienda evaluar otros equipos en otras áreas de la refinería, ver Figura 4.1, así mismo contar con un comité de energía (Clausula 4.2.1 ISO 50001:2011, ver anexo L), siendo deseable involucrar también a otras áreas como procesos, operaciones y/o despacho de ventas.
- Otras oportunidades de ahorro se encuentran en el uso de la energía térmica que incluso puede representar un mayor ahorro energético.

CONCLUSIONES

- La tarifa eléctrica MT3 es la correcta para las condiciones de consumo que se presentan, sin embargo puede mejorar cambiando el factor de calificación a presente fuera de punta (HFP) el cual se lograría con cualquiera de las opciones mostradas en la Tabla 7.1 y que representaría un ahorro económico anual aproximado de S/. 133,798.08.
- El uso de un banco de condensadores de una capacidad de 320 kVAR, tipo global instalada en la sub estación, eliminaría principalmente el pago por exceso de consumo de energía reactiva, liberaría la capacidad del transformador de 1,250 KVA y así mismo reduciría las pérdidas por efecto joule de los conductores en un 23.21 % aproximadamente.
- Como se vio en la sección 5.3.3, el arranque de los motores origina incrementos de consumo y potencia siendo estos últimos los más significativos, ya que representan un incremento aproximado del 13% de la potencia nominal y que pueden ser utilizados para programar los arranques de los motores como una medida para regular el factor de calificación.
- Las pérdidas en los motores, explicadas en el punto 2.5, son significativas ya que representan aproximadamente 7.3 % del consumo total y el 12.9 % del consumo de los motores, con tendencia a aumentar ya que con el tiempo la eficiencia seguiría disminuyendo, por lo que se comprueba que es una buena opción el reemplazo por motores de alta eficiencia (MAE).
- El reemplazo de los motores actuales por motores de alta eficiencia representa un ahorro proyectado promedio de 10% por cada motor, como indica la Tabla 7.3, y que resulta factible ya que presenta un retorno de inversión que no sobrepasa los 3 años.
- El ahorro proyectado por regulación de caudal usando de variadores de velocidad es más significativo ya que este valor está alrededor del 40% por cada motor, sin embargo el retorno de inversión es mayor, alrededor de 4 años y en algunos unos casos sobrepasan los 6 años.

- Aplicando las medias de ahorro de consumo energético en conjunto se puede evitar la emisión estimada de 232.98 Toneladas de CO_2 al año, reduciendo la contaminación por gases de efecto invernadero (GEI).
- La norma API RP 540 en la sección 3.8.2 indica que el consumo de todos los motores eléctricos en una refinería de petróleo es aproximadamente el 70.0 % del consumo eléctrico total, para el caso estudiado los motores seleccionados representan el 51.0% del consumo total como se indicó en la sección 6.3.3, proyectando un ahorro para un 70 % se obtiene un ahorro de 400,256.07 kWh/año que representa el 8.11 % en comparación al 5.91% actual.
- Comparando los ahorros energéticos por uso de motores de alta eficiencia de grados IE2 e IE3 (Tabla 7.7) no hay mucha diferencia significativa por lo que la elección dependerá de otros factores por ejemplo la disponibilidad de stock del equipo.
- Se logra un ahorro económico total proyectado de S/. 260,083.69, que representaría el 20.15% del costo anual aproximado que se paga por energía eléctrica.
- De la Tabla 7.5 se obtiene un ahorro energético anual proyectado de 425,916.68 kWh/año, principalmente por el reemplazo de motores de alta eficiencia y el uso de variadores de velocidad, este valor representa el 8.63 % del consumo total estimado de la Refinería y el 15.17 % del consumo de los motores evaluados, con lo que queda comprobado que es necesario implementar estas medidas y luego otras para seguir con programas de eficiencia energética basada en el monitoreo y control a fin de garantizar el uso eficiente de la energía (UEE).

BIBLIOGRAFIA

Referencias bibliográficas básicas:

[1] **ML 951** Auditoria Energética UNI – FIM Lima, 2011.

[2] **MC 601** Metodología de la Investigación UNI – FIM Lima, 2011.

[3] **ML 244** Maquinas Eléctricas Rotativas UNI – FIM Lima, 2011.

[4] **Fraile Mora, Jesús**. "Maquinas Eléctricas" 5ta Edición, España Mc Graw Hill, 2003.

[5] **Kenneth J**. "Bombas Selección, Uso y Mantenimiento" España Mc Graw Hill, 1987.

[6] **Torres Robles, Rafael**. "Proceso de Refinación del petróleo" 1ra Edición, México Alfaomega, 2012.

[7] **Friedrich Ebert Stiftung**. "Matriz Energética en el Perú y Energías Renovables: V. Eficiencia Energética – Políticas Publicas y acciones pendientes en el Perú". Lima, 2012.

[8] **Obregón Lozano, Josue**, "Medición de la Eficiencia a Motores de Inducción Utilizando el Método de Deslizamiento" (Tesis Maestría) Universidad Autónoma de Nuevo León. México, 2005.

[9] **Mendoza Centeno, Dabney**, "Método de la Eficiencia Ajustada para Motores de Inducción y su Aplicación para Proponer la Sustitución de Motores Estándar a Alta Eficiencia" (Tesis) Universidad San Carlos. Guatemala, 2013.

Guías Y Normas de Referencias

[10] **GUIA N°10 DGE –MINEM** "Elaboración de Proyectos de orientación del uso Eficiente de la Energía en Refinerías". Lima, 2008.

[11] **MINEM** "Guía de Orientación para la Selección de la Tarifa Eléctrica para Usuarios en Media Tensión". Lima, 2011.

[12] **API RP 540** "Electrical Installations in Petroleum Processing Plants".4th Edition EEUU 2004.

[13] **API RP 500** "Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Division 1 and Division 2". 3rd Edition EEUU, 2008.

[14] **MINEM** “Código Nacional de Electricidad” - Suministro 2011.

[15] **NEMA MG 1** “Motors and Generators”. 2009

[16] **ABB Motors** “Guía del motor” 1999.

[17] **AENOR** “UNE - EN ISO 50001 Sistema de gestión de la Energía: Requisitos con Orientación para su Uso”. España 2011.

[18] **UL DQS Inc**. “Implementing ISO 50001 Energy Management Standard, A Practitioner´s Guide”. 2011.

[19] **IEEE** – Industry Aplications Society” Curso profesional, Eficiencia energética y auditoria”, Lima 2014.

[20] **TECSUP**” Programa Integral, Eficiencia energética en sistemas industriales”, Lima 2014.

[21] **Alberto Sandoval R. CENYTEC** “Ejemplo de Implementación de un Programa de Eficiencia Energética en la Industria”. Lima 2001.

[22] **Fundación Red de Energía BUN-CA** “Manual Técnico: Motores Eléctricos” 1ra Edición, San José 2011.

[23] **IDAE** “Metodología para la Elaboración de Auditorías Energéticas en la Industria”. España 2011

[24] **IDAE** “Guía Técnica, Selección de equipos de transporte de fluidos”. España 2012.

[25] **CAEEM** “Guía de Ahorro Energético en Instalaciones Industriales”, España 2006.

[26] **SIEMENS PERU** Industry Sector, Lista de Precios 2014.

[27] **ABB PERU**, Productos de baja/ Media Tensión y Accionamientos, Lista de Precios 2014.

[28] **GOULDS PUMPS**, Catalogo de selección de bombas.

[29] https:// www.fcai.uncu.edu.ar/upload/LIBRO%20TOMO%201.pdf

[30] http://www.energia.gob.mx/res/85/Refinacion_Web.pdf

[31] http://www.loshidrocarburosenelperu.org/2013/11/las-refinerias/

ANEXO A

Lineamientos de políticas de eficiencia energética en el sector industrial recomendados por la Agencia Internacional de Energía (IEA) 2011

VI. INDUSTRIAS
21. Gestión de la energía en la industria
Debe requerirse que las grandes industrias que consuman intensivamente energía y promover que otros consumidores industriales se adecuen a la norma ISO 50001 referida a la gestión de la energía. Se deben implementar las acciones de ahorro de energía rentables y las empresas deberían informar periódicamente sobre sus resultados.
22. Alta eficiencia de equipos industriales y sistemas
Deben adoptarse normas de eficiencia mínimas para motores eléctricos y otros tipos de equipos industriales y establecer medidas de optimización que deben ser consideradas en el diseño y operación de los sistemas y procesos.
23. Servicios de eficiencia energética para las pequeñas y medianas empresas (PYME)
Deben desarrollarse e implementarse medidas especiales para promover la eficiencia energética en las PYME.
24. Políticas complementarias para apoyar la eficiencia energética industrial
Deben apoyarse las mejoras en la eficiencia energética industrial mediante la eliminación de subsidios a la energía, internalizar los costos medioambientales, ofrecer incentivos específicos con base a metas cumplidas y la garantía de acceso al financiamiento.

Fuente: FRIEDRICH EBERT STIFTUNG, Matriz energética en el Perú y energía renovables. 1ra Edición. 2012

ANEXO B

Formato de diagnóstico energético para motores

FORMATO DE MEDICION PARA MOTORES

Compañía _____

Fecha _____

Ubicación _____
Proceso _____
Departamento _____

Datos Generales

Equipo que acciona _____

Datos de Placa del Motor

Fabricante _____
Modelo _____
Numero de serie _____
Tipo de motor _____
Potencia:HP/Kw _____
Voltaje (V) _____
Corriente(A) _____
Velocidad de sincronismo(RPM) _____
Velocidad a plena carga (RPM) _____
Factor de potencia a plena carga (%) _____
Eficiencia a plena carga (%) _____
Temperatura (°C) _____
Clase de aislamiento _____
Tipo de conexion _____

Rebobinado

Si ☐
Cuantas veces ☐
No ☐

Carga del Motor (%) _____

Observaciones _____

Perfil de operación

Tiempo de operación anual _____ hrs/año

Tipo de carga

1. Carga constante, durante la operación ☐
2. Carga arranca y para, cte cuando opera ☐
3. Carga arranca y para, fluctuante cuando opera ☐

Datos de Medición

Con Instrumentos de medicion
Voltaje (voltios)
Va _____
Vb _____ Vavg _____
Vc _____
Corriente (amperios)
Ia _____
Ib _____ Iavg _____
Ic _____
Factor de potencia (PF) _____
Potencia (hp/kw) _____
Velocidad de operación (RPM) _____
Frecuencia de operación (Hz) _____

Fuente: MINEM - DGE: 2008, Guía N°10 Refinerías: Guía de orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energéticos.

ANEXO C

Formato hoja de datos (DATA SHEET) de motores de inducción API 547

energy API	MOTOR DE INDUCCIÓN API 547 1ra Edición – HOJA DE DATOS **UNIDADES METRICAS**	No. TRABAJO _____ No. ITEM / TAG _____ No. ORDEN DE COMPRA _____ No. REQ. / ESPEC. _____ No. REVISIÓN _____ FECHA _____ POR _____ PÁGINA 1 DE 3	

1	POR / USUARIO		EQUIPO IMPULSADO	
2	SITIO / UBICACIÓN		CANTIDAD	
3	PROVEEDOR		No. PROY. DEL PROVEEDOR	
4	Aplicable a:	Propuesta ❍ Compra ❍ As-built		
5	NOTA: **(Código Excel)**	COMPLETADO POR EL COMPRADOR **(m or l)** ☐ FABRICANTE CON OFERTA **(o or n)** ▽ FABRICANTE DESPUES DE ORDEN **(s or q)** ▷ FABRICANTE O COMPRADOR **(v or u)**		

DATOS BASICOS DE MOTOR

6	Normas Aplicables (1.4.2): ● Internacional (i.e., IEC, ISO) ❍ **AMERICA DEL NORTE (i.e., ANSI, NEMA)**
7	Placa de Identificación (1.1): _____ kW _____ RPM (síncrono)
8	_____ Voltios (2.2.1) 3 Fase 60 Hertz
9	Fuente de Alimentación del Motor ● **Fuente Sinusoidal** ❍ Fuente ASD (1.3.e, 2.2.1. Comprador Notifica Detalles, ver Pagina 2, linea 7 hacia 11)
10	**Condiciones Habituales de Servicio (1.2.a, b, c, d, e, h):**
11	Temperatura de Ambiente **-25 to +40 °C** ❍ Otro: _____ Elevación: **MENOS QUE 1000 m** ❍ Otro: _____
12	Ubicación del Motor: ❍ Interior ❍ Exterior ❍ Exterior con Techo ❍ En el Mar (Offshore)
13	❍ Polvo ❍ Prod. Químicos _____ ❍ Agentes Corrosivo _____
14	Montaje: **HORIZONTAL** ❍ Fijado en el Extremo Infer. ❍ Fijado con bridas ▷ Detalles de Brida _____
15	Otro: _____
16	Clasificación de Area: **Clase** 1 Grupo _____ ❍ **Zona** 2 Temp. Autoignición _____ °C
17	Peligrosa ❍ No Clasificado ❍ Otro: _____
18	Conección para la carga: **ACOPLADO DIRECTO**
19	**Nivel del Sonido de Presión (2.1.2):** **MENOR QUE 85 dBA @ 1 m, SIN CARGA, VOLT. MAX./FREQ., FUENTE SINUSOIDAL** ❍ Otro: _____
20	**Encerrado (2.4.1.1):** ❍ Totalmente Encerrado por Ventilador Externo (TEFC) (2.4.1.2)
21	❍ Weather-protected Type II (WPII) (2.4.1.3) ● **FILTRO DE AIRE WPII (2.4.1.3.f)** ❍ Interruptor de Presión ❍ Manómetro
22	**Rodajes (2.4.7):** **HIDRODINÁMICO (2.4.7.1.1)** ❍ Antifricción (2.4.7.1.6)
23	**Caja Principal de Borne (3.1.1):** **NEMA MG 1 PARTE 20 TIPO II**
24	❍ Ubicación de Caja _____ Tamaño del Conductor _____ Cant. Por Fase ____ Tipo/Aislamiento _____ Cable de Entrada: _____
25	❍ Calefactor (3.1.5.f): Codigo de Temp. T3C o ❍ T____ Voltios: _____ Fase: _____ ☐ kW _____
26	**Arranque de Motor (2.2.2.3)** **A TRAVÉS DE LA LINEA DE ARRANQUE AL 80% DE LA TENSION NOMINAL**
27	❍ Con Carga ❍ Sin Carga ❍ Carga Parcial _____ %
28	❍ Otro Método de Arranque Tipo _____ Voltage Reducido _____ Voltios
29	Información Adicional : _____
30	_____

Fuente: API 547. General Purpose Form-Wound Squirrel Cage Induction Motor, 1st Edition, 2005.

ANEXO D

Pliego Tarifario de Media Tensión - Limar Sur 04 de julio del 2014

Pliego Tarifario Máximo del Servicio Público de Electricidad
Empresa: Luz del Sur

Pliego	Vigencia	Sector	Interconexion
LIMA SUR	4/Jul/2014	1	SEIN

	MEDIA TENSIÓN	UNIDAD	TARIFA Sin IGV
TARIFA MT2:	**TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P**		
	Cargo Fijo Mensual	S/./mes	3.81
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/./kW.h	18.39
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/./kW.h	15.36
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	S/./kW-mes	35.90
	Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	S/./kW-mes	8.93
	Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HFP	S/./kW-mes	9.79
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVar.h	3.59
TARIFA MT3:	**TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P**		
	Cargo Fijo Mensual	S/./mes	3.02
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/./kW.h	18.39
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/./kW.h	15.36
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	32.05
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	21.84
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	9.83
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	9.82
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVar.h	3.59
TARIFA MT4:	**TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 1E1P**		
	Cargo Fijo Mensual	S/./mes	3.02
	Cargo por Energía Activa	ctm. S/./kW.h	16.05
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	32.05
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	21.84
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	9.83
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	9.82
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVar.h	3.59

Fuente: OSINERMING 2014 - http://www2.osinerg.gob.pe/Tarifas/Electricidad/TarifasMapa.html

ANEXO E

Niveles de eficiencia de motores eléctricos a plena carga de 1 a 400 HP, tipo jaula de ardilla, de diseño A y B. Cuando se opera a tensión y frecuencia nominales, no debe ser menor que el valor mínimo asociado con el valor nominal.

EFFICIENCY LEVELS

Nominal Efficiency	Minimum Efficiency Based on 20% Loss Difference	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency Based on 20% Loss Difference
99.0	98.8	91.0	89.5
98.9	98.7	90.2	88.5
98.8	98.6	89.5	87.5
98.7	98.5	88.5	86.5
98.6	98.4	87.5	85.5
98.5	98.2	86.5	84.0
98.4	98.0	85.5	82.5
98.2	97.8	84.0	81.5
98.0	97.6	82.5	80.0
97.8	97.4	81.5	78.5
97.6	97.1	80.0	77.0
97.4	96.8	78.5	75.5
97.1	96.5	77.0	74.0
96.8	96.2	75.5	72.0
96.5	95.8	74.0	70.0
96.2	95.4	72.0	68.0
95.8	95.0	70.0	66.0
95.4	94.5	68.0	64.0
95.0	94.1	66.0	62.0
94.5	93.6	64.0	59.5
94.1	93.0	62.0	57.5
93.6	92.4	59.5	55.0
93.0	91.7	57.5	52.5
92.4	91.0	55.0	50.5
91.7	90.2	52.5	48.0
		50.5	46.0

Fuente: NEMA MG-1:2009 - Motors and Generators, Tabla 12-10 / Parte 12 página.31

Niveles de eficiencia a plena carga de motores eléctricos eficientes abiertos, tipo jaula de ardilla de 1 a 500 HP para tensión nominal de 600V o menos.

FULL-LOAD EFFICIENCIES OF ENERGY EFFICIENT MOTORS

	OPEN MOTORS							
	2 POLE		4 POLE		6 POLE		8 POLE	
Hp	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency
1	...	...	82.5	80.0	80.0	77.0	74.0	70.0
1.5	82.5	80.0	84.0	81.5	84.0	81.5	75.5	72.0
2	84.0	81.5	84.0	81.5	85.5	82.5	85.5	82.5
3	84.0	81.5	86.5	84.0	86.5	84.0	86.5	84.0
5	85.5	82.5	87.5	85.5	87.5	85.5	87.5	85.5
7.5	87.5	85.5	88.5	86.5	88.5	86.5	88.5	86.5
10	88.5	86.5	89.5	87.5	90.2	88.5	89.5	87.5
15	89.5	87.5	91.0	89.5	90.2	88.5	89.5	87.5
20	90.2	88.5	91.0	89.5	91.0	89.5	90.2	88.5
25	91.0	89.5	91.7	90.2	91.7	90.2	90.2	88.5
30	91.0	89.5	92.4	91.0	92.4	91.0	91.0	89.5
40	91.7	90.2	93.0	91.7	93.0	91.7	91.0	89.5
50	92.4	91.0	93.0	91.7	93.0	91.7	91.7	90.2
60	93.0	91.7	93.6	92.4	93.6	92.4	92.4	91.0
75	93.0	91.7	94.1	93.0	93.6	92.4	93.6	92.4
100	93.0	91.7	94.1	93.0	94.1	93.0	93.6	92.4
125	93.6	92.4	94.5	93.6	94.1	93.0	93.6	92.4
150	93.6	92.4	95.0	94.1	94.5	93.6	93.6	92.4
200	94.5	93.6	95.0	94.1	94.5	93.6	93.6	92.4
250	94.5	93.6	95.4	94.5	95.4	94.5	94.5	93.6
300	95.0	94.1	95.4	94.5	95.4	94.5	...	...
350	95.0	94.1	95.4	94.5	95.4	94.5	...	...
400	95.4	94.5	95.4	94.5	...	...	...	...
450	95.8	95.0	95.8	95.0	...	...	...	...
500	95.8	95.0	95.8	95.0	...	...	...	...

Fuente: NEMA MG-1:2009 - Motors and Generators, Tabla 12-10 / Parte 12 página.33

Niveles de eficiencia a plena carga de motores eléctricos eficientes cerrados, tipo jaula de ardilla de 1 a 500 HP para tensión nominal de 600V o menos.

FULL-LOAD EFFICIENCIES OF ENERGY EFFICIENT MOTORS

	ENCLOSED MOTORS							
	2 POLE		4 POLE		6 POLE		8 POLE	
Hp	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency
1.0	75.5	72.0	82.5	80.0	80.0	77.0	74.0	70.0
1.5	82.5	80.0	84.0	81.5	85.5	82.5	77.0	74.0
2.0	84.0	81.5	84.0	81.5	86.5	84.0	82.5	80.0
3.0	85.5	82.5	87.5	85.5	87.5	85.5	84.0	81.5
5.0	87.5	85.5	87.5	85.5	87.5	85.5	85.5	82.5
7.5	88.5	86.5	89.5	87.5	89.5	87.5	85.5	82.5
10.0	89.5	87.5	89.5	87.5	89.5	87.5	88.5	86.5
15.0	90.2	88.5	91.0	89.5	90.2	88.5	88.5	86.5
20.0	90.2	88.5	91.0	89.5	90.2	88.5	89.5	87.5
25.0	91.0	89.5	92.4	91.0	91.7	90.2	89.5	87.5
30.0	91.0	89.5	92.4	91.0	91.7	90.2	91.0	89.5
40.0	91.7	90.2	93.0	91.7	93.0	91.7	91.0	89.5
50.0	92.4	91.0	93.0	91.7	93.0	91.7	91.7	90.2
60.0	93.0	91.7	93.6	92.4	93.6	92.4	91.7	90.2
75.0	93.0	91.7	94.1	93.0	93.6	92.4	93.0	91.7
100.0	93.6	92.4	94.5	93.6	94.1	93.0	93.0	91.7
125.0	94.5	93.6	94.5	93.6	94.1	93.0	93.6	92.4
150.0	94.5	93.6	95.0	94.1	95.0	94.1	93.6	92.4
200.0	95.0	94.1	95.0	94.1	95.0	94.1	94.1	93.0
250.0	95.4	94.5	95.0	94.1	95.0	94.1	94.5	93.6
300.0	95.4	94.5	95.4	94.5	95.0	94.1	...	...
350.0	95.4	94.5	95.4	94.5	95.0	94.1	...	...
400.0	95.4	94.5	95.4	94.5	...	...	...	...
450.0	95.4	94.5	95.4	94.5	...	...	...	...
500.0	95.4	94.5	95.8	95.0	...	...	...	...

Fuente: NEMA MG-1:2009 - Motors and Generators, Tabla 12-10 / Parte 12 página.34

Niveles de eficiencia premium a plena carga de motores eléctricos abiertos, de 1 a 500 HP para tensión nominal de 600V o menos.

FULL-LOAD EFFICIENCIES FOR 60 HZ PREMIUM EFFICIENCY ELECTRIC MOTORS RATED 600 VOLTS OR LESS (RANDOM WOUND)

	OPEN MOTORS					
	2 POLE		4 POLE		6 POLE	
HP	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency
1	77.0	74.0	85.5	82.5	82.5	80.0
1.5	84.0	81.5	86.5	84.0	86.5	84.0
2	85.5	82.5	86.5	84.0	87.5	85.5
3	85.5	82.5	89.5	87.5	88.5	86.5
5	86.5	84.0	89.5	87.5	89.5	87.5
7.5	88.5	86.5	91.0	89.5	90.2	88.5
10	89.5	87.5	91.7	90.2	91.7	90.2
15	90.2	88.5	93.0	91.7	91.7	90.2
20	91.0	89.5	93.0	91.7	92.4	91.0
25	91.7	90.2	93.6	92.4	93.0	91.7
30	91.7	90.2	94.1	93.0	93.6	92.4
40	92.4	91.0	94.1	93.0	94.1	93.0
50	93.0	91.7	94.5	93.6	94.1	93.0
60	93.6	92.4	95.0	94.1	94.5	93.6
75	93.6	92.4	95.0	94.1	94.5	93.6
100	93.6	92.4	95.4	94.5	95.0	94.1
125	94.1	93.0	95.4	94.5	95.0	94.1
150	94.1	93.0	95.8	95.0	95.4	94.5
200	95.0	94.1	95.8	95.0	95.4	94.5
250	95.0	94.1	95.8	95.0	95.4	94.5
300	95.4	94.5	95.8	95.0	95.4	94.5
350	95.4	94.5	95.8	95.0	95.4	94.5
400	95.8	95.0	95.8	95.0	95.8	95.0
450	95.8	95.0	96.2	95.4	96.2	95.4
500	95.8	95.0	96.2	95.4	96.2	95.4

Fuente: NEMA MG-1:2009 - Motors and Generators, Tabla 12-10 / Parte 12 página.35

Niveles de eficiencia premium a plena carga de motores eléctricos cerrados, de 1 a 500 HP para tensión nominal de 600V o menos.

FULL-LOAD EFFICIENCIES FOR 60 HZ PREMIUM EFFICIENCY ELECTRIC MOTORS RATED 600 VOLTS OR LESS (RANDOM WOUND)

	ENCLOSED MOTORS					
	2 POLE		4 POLE		6 POLE	
HP	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency	Nominal Efficiency	Minimum Efficiency
1	77.0	74.0	85.5	82.5	82.5	80.0
1.5	84.0	81.5	86.5	84.0	87.5	85.5
2	85.5	82.5	86.5	84.0	88.5	86.5
3	86.5	84.0	89.5	87.5	89.5	87.5
5	88.5	86.5	89.5	87.5	89.5	87.5
7.5	89.5	87.5	91.7	90.2	91.0	89.5
10	90.2	88.5	91.7	90.2	91.0	89.5
15	91.0	89.5	92.4	91.0	91.7	90.2
20	91.0	89.5	93.0	91.7	91.7	90.2
25	91.7	90.2	93.6	92.4	93.0	91.7
30	91.7	90.2	93.6	92.4	93.0	91.7
40	92.4	91.0	94.1	93.0	94.1	93.0
50	93.0	91.7	94.5	93.6	94.1	93.0
60	93.6	92.4	95.0	94.1	94.5	93.6
75	93.6	92.4	95.4	94.5	94.5	93.6
100	94.1	93.0	95.4	94.5	95.0	94.1
125	95.0	94.1	95.4	94.5	95.0	94.1
150	95.0	94.1	95.8	95.0	95.8	95.0
200	95.4	94.5	96.2	95.4	95.8	95.0
250	95.8	95.0	96.2	95.4	95.8	95.0
300	95.8	95.0	96.2	95.4	95.8	95.0
350	95.8	95.0	96.2	95.4	95.8	95.0
400	95.8	95.0	96.2	95.4	95.8	95.0
450	95.8	95.0	96.2	95.4	95.8	95.0
500	95.8	95.0	96.2	95.4	95.8	95.0

Fuente: NEMA MG-1:2009 - Motors and Generators, Tabla 12-10 / Parte 12 página.36

ANEXO F

Tabla de eficiencias a diferentes porcentajes de carga de motores estándar y MAE de 5 a 40HP.

Pot (hp)	Tipo	Carcaza	Polos	rpm	Ef 0.25	Ef 0.50	Ef 0.75	Ef 1.0
5	STD	abierto	2	3600	0.7615	0.8247	0.8374	0.8270
			4	1800	0.7435	0.8152	0.8422	0.8320
			6	1200	0.7735	0.8118	0.8285	0.8383
			8	900	0.7020	0.8003	0.8267	0.8218
		cerrado	2	3600	0.7633	0.8424	0.8608	0.8575
			4	1800	0.7840	0.8528	0.8633	0.8549
			6	1200	0.7674	0.8204	0.8443	0.8470
			8	900	0.7230	0.8090	0.8365	0.8350
	AE	abierto	2	3600	0.8080	0.8637	0.8797	0.8753
			4	1800	0.8358	0.8927	0.8963	0.8898
			6	1200	0.8266	0.8793	0.8900	0.8891
			8	900	0.8170	0.8845	0.8965	0.8900
		cerrado	2	3600	0.8267	0.8811	0.8938	0.8894
			4	1800	0.8429	0.8963	0.9055	0.8959
			6	1200	0.8375	0.8918	0.9014	0.8931
			8	900	0.8130	0.8828	0.8945	0.8900
7.5	STD	abierto	2	3600	0.8090	0.8563	0.8616	0.8483
			4	1800	0.8044	0.8523	0.8588	0.8492
			6	1200	0.7675	0.8460	0.8570	0.8488
			8	900	0.7430	0.8358	0.8506	0.8498
		cerrado	2	3600	0.7933	0.8619	0.8758	0.8586
			4	1800	0.7985	0.8679	0.8783	0.8722
			6	1200	0.7941	0.8449	0.8595	0.8567
			8	900	0.7420	0.8332	0.8743	0.8329
	AE	abierto	2	3600	0.8630	0.9066	0.9057	0.8897
			4	1800	0.8431	0.9019	0.9088	0.9060
			6	1200	0.8362	0.8933	0.9034	0.9029
			8	900	0.8360	0.8945	0.9010	0.8940
		cerrado	2	3600	0.8495	0.8993	0.9080	0.9024
			4	1800	0.8561	0.9077	0.9150	0.9102
			6	1200	0.8482	0.9017	0.9111	0.9078
			8	900	0.8294	0.8867	0.8960	0.8857
10	STD	abierto	2	3600	0.8123	0.8649	0.8783	0.8684
			4	1800	0.8181	0.8653	0.8696	0.8539
			6	1200	0.8513	0.8646	0.8808	0.8747
			8	900	0.7950	0.8562	0.8676	0.8570
		cerrado	2	3600	0.8328	0.8866	0.8873	0.8680
			4	1800	0.8274	0.8780	0.8843	0.8754
			6	1200	0.8035	0.8613	0.8741	0.8689
			8	900	0.7980	0.8630	0.8735	0.8650
	AE	abierto	2	3600	0.8345	0.8980	0.9054	0.8995
			4	1800	0.8697	0.9137	0.9162	0.9083
			6	1200	0.8633	0.9130	0.9187	0.9140
			8	900	0.8585	0.9053	0.9113	0.9050
		cerrado	2	3600	0.8723	0.9119	0.9177	0.9110
			4	1800	0.8758	0.9142	0.9196	0.9092
			6	1200	0.8634	0.9066	0.9140	0.9094
			8	900	0.8333	0.8989	0.9069	0.9008
15	STD	abierto	2	3600	0.8605	0.8886	0.8919	0.8726
			4	1800	0.8477	0.8902	0.8943	0.8815
			6	1200	0.7973	0.8643	0.8731	0.8675
			8	900	0.8135	0.8708	0.8764	0.8600
		cerrado	2	3600	0.8219	0.8728	0.8878	0.8770
			4	1800	0.8028	0.8713	0.8853	0.8790
			6	1200	0.7954	0.8578	0.8761	0.8763
			8	900	0.7683	0.8785	0.8815	0.8660
	AE	abierto	2	3600	0.8754	0.9136	0.9149	0.9049
			4	1800	0.8728	0.9261	0.9298	0.9253
			6	1200	0.8634	0.9134	0.9199	0.9186
			8	900	0.8665	0.9100	0.9130	0.9050
		cerrado	2	3600	0.8691	0.9119	0.9206	0.9159
			4	1800	0.8964	0.9236	0.9276	0.9243
			6	1200	0.8738	0.9155	0.9220	0.9258
			8	900	0.8488	0.9066	0.9102	0.9008

Pot (hp)	Tipo	Carcaza	Polos	rpm	Ef 0.25	Ef 0.50	Ef 0.75	Ef 1.0
20	STD	abierto	2	3600	0.8736	0.9002	0.9037	0.8886
			4	1800	0.8339	0.8857	0.8888	0.8789
			6	1200	0.8606	0.8902	0.8945	0.8844
			8	900	0.8045	0.8783	0.8883	0.8800
		cerrado	2	3600	0.8140	0.8798	0.8934	0.8981
			4	1800	0.8294	0.8876	0.8970	0.8880
			6	1200	0.8181	0.8849	0.8912	0.8841
			8	900	0.8493	0.8830	0.8908	0.8818
	AE	abierto	2	3600	0.8754	0.9100	0.9137	0.9004
			4	1800	0.8926	0.9295	0.9314	0.9216
			6	1200	0.8827	0.9239	0.9272	0.9202
			8	900	0.8870	0.9210	0.9230	0.9144
		cerrado	2	3600	0.8898	0.9208	0.9277	0.9195
			4	1800	0.8964	0.9301	0.9341	0.9280
			6	1200	0.8857	0.9242	0.9269	0.9178
			8	900	0.8800	0.9164	0.9201	0.9088
25	STD	abierto	2	3600	0.8510	0.8950	0.9017	0.8886
			4	1800	0.8714	0.9056	0.9085	0.8932
			6	1200	0.8544	0.8932	0.8990	0.8913
			8	900	0.8430	0.8818	0.8913	0.8825
		cerrado	2	3600	0.8406	0.8907	0.9021	0.8883
			4	1800	0.8691	0.9121	0.9171	0.9055
			6	1200	0.8411	0.8901	0.8994	0.8915
			8	900	0.7890	0.8720	0.8850	0.8817
	AE	abierto	2	3600	0.8804	0.9271	0.9305	0.9264
			4	1800	0.8919	0.9357	0.9387	0.9331
			6	1200	0.8910	0.9350	0.9372	0.9281
			8	900	0.8905	0.9237	0.9260	0.9147
		cerrado	2	3600	0.8835	0.9220	0.9292	0.9234
			4	1800	0.9109	0.9372	0.9401	0.9352
			6	1200	0.9050	0.9348	0.9366	0.9274
			8	900	0.8833	0.9195	0.9216	0.9084
30	STD	abierto	2	3600	0.8651	0.8998	0.9043	0.8916
			4	1800	0.8821	0.9168	0.9157	0.8986
			6	1200	0.9073	0.9068	0.9093	0.9019
			8	900	0.8355	0.8865	0.8960	0.8868
		cerrado	2	3600	0.8543	0.8956	0.9049	0.8930
			4	1800	0.8871	0.9168	0.9210	0.9090
			6	1200	0.8387	0.9009	0.9078	0.8994
			8	900	0.8330	0.8894	0.8952	0.8830
	AE	abierto	2	3600	0.8726	0.9218	0.9275	0.9290
			4	1800	0.9001	0.9380	0.9411	0.9334
			6	1200	0.9003	0.9377	0.9383	0.9338
			8	900	0.8960	0.9260	0.9298	0.9251
		cerrado	2	3600	0.8827	0.9237	0.9290	0.9244
			4	1800	0.9138	0.9406	0.9424	0.9358
			6	1200	0.9092	0.9352	0.9370	0.9296
			8	900	0.8830	0.9246	0.9296	0.9234
40	STD	abierto	2	3600	0.8883	0.9090	0.9111	0.8970
			4	1800	0.8939	0.9028	0.9109	0.9046
			6	1200	0.8718	0.9063	0.9122	0.9058
			8	900	0.8500	0.8975	0.9035	0.8935
		cerrado	2	3600	0.8450	0.8833	0.8945	0.8919
			4	1800	0.8770	0.9011	0.9119	0.9131
			6	1200	0.8523	0.8933	0.9021	0.8995
			8	900	0.8650	0.9036	0.9080	0.8986
	AE	abierto	2	3600	0.8879	0.9316	0.9363	0.9331
			4	1800	0.9110	0.9484	0.9500	0.9407
			6	1200	0.9083	0.9376	0.9434	0.9401
			8	900	0.8990	0.9270	0.9294	0.9221
		cerrado	2	3600	0.8854	0.9249	0.9338	0.9321
			4	1800	0.9147	0.9428	0.9462	0.9411
			6	1200	0.9050	0.9380	0.9430	0.9384
			8	900	0.8905	0.9273	0.9318	0.9228

Fuente: FIDE, México. Ahorro de energía mediante la evaluación energética de motores eléctricas. Página 7.

Tabla de eficiencias a diferentes cargas de motores estándar y MAE de 50 a 200 HP.

Pot (hp)	Tipo	Carcaza	Polos	rpm	Ef 0.25	Ef 0.50	Ef 0.75	Ef 1.0
50	STD	abierto	2	3600	0.8704	0.8997	0.9122	0.9055
			4	1800	0.8892	0.9116	0.9167	0.9091
			6	1200	0.8833	0.9200	0.9129	0.9133
			8	900	0.8790	0.9113	0.9113	0.8988
		cerrado	2	3600	0.8571	0.8892	0.9047	0.9018
			4	1800	0.8853	0.9198	0.9259	0.9208
			6	1200	0.8680	0.9121	0.9178	0.9130
			8	900	0.8716	0.9069	0.9121	0.9036
	AE	abierto	2	3600	0.8982	0.9291	0.9348	0.9326
			4	1800	0.9133	0.9487	0.9484	0.9409
			6	1200	0.9123	0.9399	0.9445	0.9408
			8	900	0.9080	0.9363	0.9373	0.9274
		cerrado	2	3600	0.9049	0.9349	0.9397	0.9350
			4	1800	0.9275	0.9494	0.9489	0.9430
			6	1200	0.9113	0.9342	0.9428	0.9377
			8	900	0.9010	0.9387	0.9410	0.9299
60	STD	abierto	2	3600	0.8856	0.9157	0.9185	0.9084
			4	1800	0.8507	0.9079	0.9156	0.9141
			6	1200	0.8820	0.9166	0.9184	0.9108
			8	900	0.9043	0.9275	0.9277	0.9179
		cerrado	2	3600	0.8697	0.8835	0.8999	0.9035
			4	1800	0.8824	0.9175	0.9252	0.9237
			6	1200	0.8618	0.9101	0.9174	0.9135
			8	900	0.8695	0.9148	0.9190	0.9100
	AE	abierto	2	3600	0.9113	0.9346	0.9394	0.9376
			4	1800	0.9125	0.9469	0.9499	0.9485
			6	1200	0.9110	0.9459	0.9495	0.9466
			8	900	0.9140	0.9428	0.9440	0.9362
		cerrado	2	3600	0.8977	0.9311	0.9412	0.9395
			4	1800	0.9224	0.9470	0.9511	0.9463
			6	1200	0.9044	0.9410	0.9467	0.9434
			8	900	0.9005	0.9365	0.9375	0.9264
75	STD	abierto	2	3600	0.8875	0.9066	0.9163	0.9105
			4	1800	0.8788	0.9224	0.9255	0.9192
			6	1200	0.8890	0.9234	0.9224	0.9132
			8	900	0.8580	0.9135	0.9188	0.9112
		cerrado	2	3600	0.8698	0.8867	0.9047	0.9113
			4	1800	0.8966	0.9173	0.9293	0.9272
			6	1200	0.8905	0.9121	0.9189	0.9184
			8	900	0.8340	0.9060	0.9127	0.9047
	AE	abierto	2	3600	0.9042	0.9369	0.9430	0.9438
			4	1800	0.9248	0.9512	0.9542	0.9509
			6	1200	0.9150	0.9487	0.9489	0.9483
			8	900	0.9070	0.9422	0.9464	0.9435
		cerrado	2	3600	0.9061	0.9400	0.9454	0.9427
			4	1800	0.9283	0.9462	0.9523	0.9500
			6	1200	0.9098	0.9430	0.9487	0.9463
			8	900	0.8991	0.9388	0.9433	0.9391
100	STD	abierto	2	3600	0.8903	0.9212	0.9248	0.9158
			4	1800	0.8858	0.9221	0.9268	0.9184
			6	1200	0.8735	0.9216	0.9276	0.9233
			8	900	0.8685	0.9157	0.9200	0.9183
		cerrado	2	3600	0.8843	0.8987	0.9110	0.9147
			4	1800	0.8910	0.9267	0.9340	0.9337
			6	1200	0.8680	0.9211	0.9297	0.9260
			8	900	0.8790	0.9215	0.9265	0.9155
	AE	abierto	2	3600	0.9090	0.9364	0.9403	0.9386
			4	1800	0.9293	0.9516	0.9546	0.9508
			6	1200	0.9050	0.9427	0.9480	0.9462
			8	900	0.9170	0.9460	0.9490	0.9437
		cerrado	2	3600	0.8927	0.9347	0.9437	0.9442
			4	1800	0.9270	0.9502	0.9551	0.9518
			6	1200	0.9190	0.9446	0.9505	0.9476
			8	900	0.9110	0.9420	0.9452	0.9373

Pot (hp)	Tipo	Carcaza	Polos	rpm	Ef 0.25	Ef 0.50	Ef 0.75	Ef 1.0
125	STD	abierto	2	3600	0.8840	0.9195	0.9255	0.9199
			4	1800	0.9220	0.9373	0.9373	0.9318
			6	1200	0.8855	0.9272	0.9275	0.9224
			8	900	0.9182	0.9417	0.9422	0.9356
		cerrado	2	3600	0.8808	0.9069	0.9234	0.9278
			4	1800	0.8830	0.9222	0.9314	0.9318
			6	1200	0.8900	0.9300	0.9363	0.9323
			8	900	s/d	0.9310	0.9320	0.9240
	AE	abierto	2	3600	0.8957	0.9450	0.9485	0.9475
			4	1800	0.9308	0.9549	0.9550	0.9523
			6	1200	0.9145	0.9480	0.9503	0.9465
			8	900	0.9220	0.9490	0.9240	0.9463
		cerrado	2	3600	0.9060	0.9430	0.9496	0.9494
			4	1800	0.9271	0.9494	0.9559	0.9545
			6	1200	0.9238	0.9484	0.9538	0.9497
			8	900	0.9240	0.9478	0.9492	0.9414
150	STD	abierto	2	3600	0.8943	0.9215	0.9263	0.9213
			4	1800	0.9110	0.9254	0.9343	0.9323
			6	1200	0.9000	0.9295	0.9325	0.9300
			8	900	0.9270	0.9450	0.9420	0.9620
		cerrado	2	3600	0.8770	0.9103	0.9256	0.9280
			4	1800	0.8995	0.9295	0.9375	0.9376
			6	1200	0.9080	0.9398	0.9420	0.9343
			8	900	0.9020	0.9450	0.9420	0.9240
	AE	abierto	2	3600	0.9193	0.9442	0.9474	0.9450
			4	1800	0.9238	0.9532	0.9578	0.9572
			6	1200	0.9200	0.9504	0.9534	0.9507
			8	900	0.9185	0.9483	0.9507	0.9480
		cerrado	2	3600	0.9173	0.9470	0.9523	0.9500
			4	1800	0.9302	0.9500	0.9563	0.9569
			6	1200	0.9310	0.9525	0.9569	0.9551
			8	900	0.9193	0.9488	0.9502	0.9452
200	STD	abierto	2	3600	0.8843	0.9244	0.9338	0.9325
			4	1800	0.9106	0.9389	0.9421	0.9351
			6	1200	0.9190	0.9280	0.9413	0.9318
			8	900	s/d	0.9363	0.9383	0.9253
		cerrado	2	3600	0.9113	0.9157	0.9287	0.9308
			4	1800	0.8980	0.9408	0.9473	0.9427
			6	1200	0.9251	0.9429	0.9451	0.9357
			8	900	s/d	0.9423	0.9480	0.9420
	AE	abierto	2	3600	0.9380	0.9480	0.9533	0.9498
			4	1800	0.9313	0.9591	0.9630	0.9588
			6	1200	0.9330	0.9548	0.9604	0.9510
			8	900	s/d	0.9578	0.9573	0.9503
		cerrado	2	3600	0.9178	0.9438	0.9518	0.9527
			4	1800	0.9407	0.9553	0.9591	0.9586
			6	1200	0.9350	0.9548	0.9579	0.9545
			8	900	0.9250	0.9514	0.9541	0.9483

Fuente: FIDE, México. Ahorro de energía mediante la evaluación energética de motores eléctricas. Página 7.

ANEXO G

Fichas técnicas de motores de alta eficiencia WEG

WEG ELECTRIC MOTORS Hazardous Locations Three-Phase: Explosion Proof - NEMA Premium

N°	Output HP	V	RPM	Frame	Full Load Amps	Locked rotor current (II/In)	Locked Rotor Torque	Break Down Torque	Efficiency (%)			Power factor (%)			Service Factor	Insulation	Torque lb.ft	Weight	Price $
									50	75	100	50	75	100					
1	10 HP	460	3535	215T	12.0 A	9.2	280%	350%	88.5	89.5	90.2	0.71	0.81	0.87	1.15	F	14.7	201 lb	1,803.00
2	15 HP	460	3535	254T	16.9 A	6.5	200%	270%	91.0	91.7	91.7	0.79	0.86	0.89	1.15	F	22.0	318 lb	2,490.00
3	20 HP	460	3530	256T	23.1 A	6.2	200%	250%	91.0	91.7	91.7	0.79	0.86	0.89	1.15	F	29.4	357 lb	3,083.00
4	25 HP	460	3555	284TS	28.6 A	9.0	220%	360%	91.7	92.4	92.4	0.78	0.85	0.88	1.15	F	36.4	452 lb	4,188.00
5	40 HP	460	3555	324TS	45.8 A	6.6	270%	270%	92.4	93.6	93.6	0.8	0.86	0.88	1.15	F	58.3	639 lb	5,583.00
6	50 HP	460	3550	326TS	57.5 A	7.2	210%	210%	92.4	93.6	94.1	0.82	0.88	0.89	1.15	F	73.0	728 lb	6,382.00
7	75 HP	460	3560	364/5TS	82.4 A	7.0	230%	260%	93.0	94.1	94.1	0.81	0.87	0.89	1.15	F	109.0	1025 lb	11,285.00

Description

WEG Explosion Proof motors are suitable for applications requiring UL or CSA certification for hazardous locations. Thermally protected with thermostats, all motors manufactured are submitted to hydrostatic as well as other routine testing at the factory to ensure compliance to the required specifications. WEG NEMA Premium Efficiency Explosion Proof motors are specifically designed to meet or exceed all EPAct requirements for energy efficiency.

Applications

- Petroleum and gasoline
- Flour / feed mills
- Grain elevators
- Fans
- Pumps
- Blowers
- Material handling equipment
- Other applications requiring motors UL or CSA listed for hazardous locations

NOTES

Note: Motors are tested according to IEEE 112 std. – method 'B' or C390 CSA

Energy efficiency motors verified by UL in addition to the DOE.

ALSO ENERGY VERIFIED CSA C390-93 — E 104590 — APPROVED BY LR 50962 — APPROVED BY E 87048

CSA and UL approved

ALSO ENERGY VERIFIED CSA C390-93(+)

CSA approved - File LR 50962
Division 1, class I, groups C and D
Division 1, class II, groups F and G

UL approved - File E 87848
Temperature code T4
Frame 143T up to 326T
Division 1, class I, groups C and D
Division 1, class II, groups F and G

Frame 364T up to 586/7
Temperature code T3C
Division 1, class I, groups C and D
Division 1, class II, groups F and G*
* For group G, Service Factor 1.0

Three-Phase : Explosion Proof - NEMA Premium

• Hazardous Locations

WEG ELECTRIC MOTORS Hazardous Locations Three-Phase: Explosion Proof - High Efficiency

N°	Output HP	V	RPM	Frame	Full Load Amps	Locked rotor current (II/In)	Locked Rotor Torque	Break Down Torque	Efficiency (%)			Power factor (%)			Service Factor	Insulation	Torque lb.ft	Weight	Price $
									50	75	100	50	75	100					
1	10 HP	460	3500	215T	11.7 A	6.9	220%	280%	88.5	89.5	89.5	0.81	0.88	0.9	1.15	F	14.8	201 lb	1,466.00
2	15 HP	460	3530	254T	17.0 A	6.5	200%	270%	88.5	90.2	90.2	0.81	0.87	0.9	1.15	F	22.0	317 lb	1,922.00
3	20 HP	460	3515	256T	23.5 A	6.2	190%	250%	89.5	90.2	90.2	0.81	0.87	0.89	1.15	F	29.5	358 lb	2,514.00
4	25 HP	460	3525	284TS	29.0 A	8.2	200%	250%	90.2	91.0	91.0	0.84	0.87	0.88	1.15	F	36.7	434 lb	3,308.00
5	40 HP	460	3550	324TS	46.1 A	6.3	230%	240%	91.0	91.7	91.7	0.82	0.87	0.89	1.15	F	58.4	626 lb	4,682.00
6	50 HP	460	3555	326TS	56.5 A	6.5	230%	230%	91.0	92.4	92.4	0.83	0.88	0.89	1.15	F	72.9	669 lb	5,195.00
7	75 HP	460	3550	365TS	82.5 A	6.5	200%	260%	91.7	93	93	0.83	0.89	0.9	1.15	F	109.0	1018 lb	9,472.00

Description

WEG Explosion Proof motors are suitable for applications requiring UL or CSA certification for hazardous locations. Thermally protected with thermostats, all motors manufactured are submitted to hydrostatic as well as other routine testing at the factory to ensure compliance to the required specifications.

WEG High Efficiency Explosion Proof motors are specifically designed to meet or exceed all EPAct requirements for energy efficiency.

Applications

- Petroleum and gasoline
- Flour / feed mills
- Grain elevators
- Fans
- Pumps
- Blowers
- Material handling equipment
- Other applications requiring motors UL or CSA listed for hazardous locations

NOTES

Motors are tested according to IEEE 112 std. - method 'B' or C390 CSA

All WEG motors are energy efficiency verified by UL in addition to the DOE.

ALSO ENERGY VERIFIED CSA C390-93 — E 104590 — APPROVED BY LR 50962 — APPROVED BY E 87048

CSA and UL approved

ALSO ENERGY VERIFIED CSA C390-93(+)

CSA approved - File LR 50962
Division 1, class I, groups C and D
Division 1, class II, groups F and G

UL approved - File E 87848
Temperature code T4
Frame 143T up to 326T
Division 1, class I, groups C and D
Division 1, class II, groups F and G

Frame 364T up to 505
Temperature code T3C
Division 1, class I, groups C and D
Division 1, class II, groups F and G (for group G, Service Factor 1.0)

Frame 586/7
Temperature code T3C
Division 1, class I, groups C and D
Division 1, class II, group F

Three-Phase : Explosion Proof - High Efficiency

• Hazardous Locations

WEG ELECTRIC MOTORS IEEE 841™ Motors Three-Phase: W22 IEEE-841™ Petrochem Motors - NEMA Premium® Efficiency

N°	Output HP	V	RPM	Frame	Full Load Amps	Locked rotor current (II/In)	Locked Rotor Torque	Break Down Torque	Efficiency (%)			Power factor (%)			Service Factor	Insulation	Torque lb.ft	Weight	Price $
									50	75	100	50	75	100					
1	10 HP	460	3515	213/5T	11.6 A	7.2	210%	290%	89.5	90.2	90.2	0.79	0.87	0.90	1.25	F	14.7	163 lb	2,000.00
2	15 HP	460	3530	254/6T	17.2 A	6.8	220%	270%	89.5	91.0	91.0	0.77	0.85	0.88	1.25	F	22.0	236 lb	2,548.00
3	20 HP	460	3520	254/6T	23.2 A	6.1	200%	240%	91.0	91.7	91.0	0.82	0.87	0.89	1.25	F	29.4	269 lb	3,077.00
4	25 HP	460	3535	284/6TS	28.5 A	6.3	200%	250%	91.0	91.7	91.7	0.82	0.87	0.89	1.25	F	36.6	362 lb	3,568.00
5	40 HP	460	3555	324/6TS	45.8 A	6.4	230%	240%	91.7	92.4	92.4	0.82	0.87	0.89	1.25	F	58.3	547 lb	5,306.00
6	50 HP	460	3560	364/5T	57.4 A	6.4	200%	240%	93.6	94.1	94.1	0.74	0.83	0.86	1.25	F	72.8	634 lb	6,389.00
7	75 HP	460	3555	364/5TS	81.9 A	6.6	200%	260%	92.4	93.6	93.6	0.83	0.88	0.90	1.25	F	109.0	847 lb	10,210.00

Electric Motors IEEE 841™ Motors
Three-Phase: W22 IEEE-841™ Petrochem Motors - NEMA Premium® Efficiency

Description

WEG's W22 NEMA Premium motors meet or exceed all NEMA Premium® requirements for energy efficiency.
These WEG IEEE 841 W22 NEMA Premium Efficiency Mill and Chemical Duty Motors are specially suited for Pulp and Paper Mills, Petrochemical, Steel Mills and applications requiring Severe Duty long life motors.

Applications

- Pumping applications
- Pulp and paper mills
- Petrochemical

Notes

All motors supplied with IEEE 841 Test ReportAll WEG motors are energy efficiency verified by CSA and UL in addition to the DOE.

Three-Phase: W22 IEEE-841™ Petrochem Motors - NEMA Premium® Efficiency

- IEEE 841™ Motors

Fuente: WEG's E-Technical Catalog http://ecatalog.weg.net/

ANEXO H

Ficha técnica variadores de velocidad Modulares SINAMICS G120P (SIEMENS - PERÚ)

La Unidad SINAMICS G120P se ha concebido especialmente para el uso bombas, ventiladores y compresores.
Este variador esta compuesto de un Power Module (PM230) y una Control Unit perfectamente adaptada a la aplicación.
Disponemos con grado de protección IP20 e IP55, Sinamics G120P se utiliza para tareas simples como para tareas de regulación compleja en automatización de edificios, tratamiento de agua y en la industria de procesos.

SINAMICS G120 P CONFIGURACIÓN EN 3 PASOS:

PM230 IP20 /IP55 + CU230P + BOP/IOP

El variador SINAMICS G120P se compone del Power Module PM230, la unidad de control CU230P-2 y un panel de mando (IOP o BOP-2)

Especificaciones técnicas:

Tensión de Alimentación	3AC 380-480 V +/- 10%
Frecuencia de Salida	0-650 Hz, resolución 0.01 Hz
Tipo de Protección	IP20/IP55
Temperatura de Operación	0° a 60°C sin derating
Factor de Sobrecarga	150% durante 3 seg, 110% durante 57 seg
Modo de control	V/F, V/f ECO, Control vectorial sin sensor
Entradas digitales	6
Salidas digitales	3
Entradas análogas	4 de -10-10 VDC ó de 0-20mA
Salidas análogas	2 de 0-10 VDC
Aplicaciones de baja sobrecarga	Bombas, Ventiladores y compresores
Freno	Freno por inyección de corriente continua
Comunicación	RS485/USS, MODBUS RTU, BACnet, CANopen y PROFIBUS
Humedad Relativa	< 95% HR sin condensación

UNIDAD DE CONTROL (CU):

CU230P-2: Con funciones integradas para aplicaciones como bombas, ventiladores y compresores

MODULO DE POTENCIA:

PM230: (0.5 a 125 HP/ 380-480VAC) ideal para aplicaciones de bomba, ventiladores y compresoras, disponible en IP20/IP55 El THD es menor del límite especificado por estándares EN61000-3-12 y IEC61000-3-12. No se requiere reactancias adicionales y por lo tanto precisa menor espacio de montaje.

	Código (MLFB)	Tamaño Constructivo	Potencia HP	Potencia KW	Corriente Amp	Peso KG	Precio Lista Unit. S/.
	SINAMICS G120P - PM230 - 3AC 380 -480V						
100152108	6SL3223-0DE13-7AA0	FSA	0.5	0.37	1.3	4.3	1,308
100152109	6SL3223-0DE15-5AA0	FSA	0.75	0.55	1.7	4.3	1,308
100152120	6SL3223-0DE17-5AA0	FSA	1	0.75	2.2	4.3	1,308
100152121	6SL3223-0DE21-1AA0	FSA	1.5	1.1	3.1	4.3	1,406
100152122	6SL3223-0DE21-5AA0	FSA	2	1.5	4.1	4.3	1,602
100152123	6SL3223-0DE22-2AA0	FSA	3	2.2	5.9	4.3	1,856
100152125	6SL3223-0DE23-0AA0	FSA	4	3	7.7	4.3	2,324
100152126	6SL3223-0DE24-0AA0	FSB	5	4	10.2	6.3	2,754
100152749	6SL3223-0DE25-5AA0	FSB	7.5	5.5	13.2	6.3	3,222
100152128	6SL3223-0DE27-5AA0	FSB	10	7.5	18	6.3	4,199
100101329	6SL3223-0DE31-1AA0	FSC	15	11	26	9.5	5,664
100152129	6SL3223-0DE31-5AA0	FSC	20	15	32	9.5	7,325
100152751	6SL3223-0DE31-8AA0	FSC	25	18.5	38	9.5	8,984
100152130	6SL3223-0DE32-2AA0	FSD	30	22	45	31	10,547
100152463	6SL3223-0DE33-0AA0	FSD	40	30	60	31	13,379
100152464	6SL3223-0DE33-7AA0	FSE	50	37	75	37	16,407
100152465	6SL3223-0DE34-5AA0	FSE	60	45	90	37	20,020
100152466	6SL3223-0DE35-5AA0	FSF	75	55	110	69.5	23.438

Fuente: SIEMESN Industry Sector – Lista de precios 2014 Pagina 4/7.

ANEXO I

Variador de Velocidad ACS550-01

Para aplicaciones estándar / 1 a 220HP

Los variadores de velocidad ACS550 pueden emplearse en un amplio conjunto de industrias. Se usan frecuentemente en bombas, ventiladores y en aplicaciones de torque constante, como por ejemplo las fajas transportadoras.

Resultan perfectos si se desea sencillez en la instalación, la puesta en marcha y el manejo, siendo igualmente apropiados en aquellos casos en los que no se requiera tecnología personalizada o específica para productos especiales.

Aplicaciones

- Bombas: centrífugas, sumergibles, dosificadoras de tornillo.
- Ventiladores: centrífugos, axiales.
- Transportadores: de faja, de cadena, de tornillo, etc.

¿Por qué utilizar un ACS550?

Característica / Función	Ventaja / Beneficio
Reactancia de entrada integrada	**Reactancia de autoinductancia variable patentada. Reduce y suprime los armónicos ajustando la inductancia a la carga. Reduce las emisiones de distorsión total por armónicos (THD) hasta un 25%.**
Panel de control Asistente como estándar	Panel extraíble retroiluminado, con opción de lenguaje Español, de uso intuitivo:
Back-up y copia de parámetros	– Puede obtener una copia de seguridad de los parámetros programados y guardarla en el panel, eliminando así la necesidad de anotarlos en un papel. Una vez guardados o cargados los parámetros en el panel, ud. puede transferirlos a otro variador de aplicación similar y evitar tener que ingresar nuevamente los valores en este nuevo equipo.
Asistente de programación	– No requiere ser un experto para programar el variador. El asistente lo va guiando en la configuración de los parámetros. Puede realizar desde una aplicación básica de un arranque simple, hasta una con un mayor nivel de complejidad, como la configuración de un sistema de control con un lazo PID.
Tecla de ayuda	– En caso de falla, el panel muestra la información de las acciones a tomar para que ud. pueda saber que hacer sin necesidad de tener el manual a la mano.
Reloj tiempo real	– Puede programar el arranque del motor a una hora del día determinada. Además, ayuda a saber la fecha y hora en que ocurrieron eventos como alarmas y fallas.
Macro o software de control PFC para el control de bombas y ventiladores en paralelo	Un sólo variador puede realizar la alternancia y arranque en cascada de hasta 3 bombas o ventiladores conectados en paralelo, eliminando la necesidad del uso de un PLC externo. Reduce los esfuerzos que sufre el motor e incrementa su vida útil al accionar los motores auxiliares en función de la capacidad de la bomba o el ventilador. Aumenta la vida útil del sistema de bombeo o ventilación y reduce el tiempo y los costos de mantenimiento. La función de interbloqueo permite desactivar un motor de la red principal mientras el resto sigue funcionando en paralelo. Las operaciones de mantenimiento pueden realizarse con seguridad sin detener el proceso.
Versión en IP54 disponible	No requiere ser montado dentro de un tablero. Mayor grado de hermeticidad, ideal para ambientes con mucha humedad y contaminación de partículas.
Interfaz de bus de campo Modbus RS-845 integrada	Sin necesidad de buses de campo externos. Diseño compacto integrado. Ahorra el costo de dispositivos de bus de campo externos. Aumenta la confiabilidad.
Compacto y de montaje flexible	Ahorra al máximo el espacio en su gabinete o tablero de montaje. – Sólo requiere 20 cm de espacio libre en la parte superior e inferior para garantizar un flujo correcto de aire de refrigeración. – No necesita espacio libre en los laterales. Es posible instalar equipos de forma contigua a los lados. – Plantilla de montaje. Se suministra separadamente con la unidad. Señalización fácil y sencilla gracias a los orificios para tornillos y de montaje en la superficie de la instalación.
Control del encendido y apagado del ventilador de refrigeración	Los ventiladores de refrigeración solo giran cuando el variador está modulando, es decir, refrigeran sólo cuando es necesario. Funcionamiento silencioso. Mejora la eficiencia energética del variador.
Contraseña de seguridad	Previene que personas no autorizadas modifiquen los parámetros programados por ud.
Historial de fallos	Guarda un registro de los 10 últimos fallos. Puede saber que, cómo, y cuando ocurrieron eventos como fallas y alarmas.
Asistente de mantenimiento	Le envía mensajes de aviso a través de la pantalla del panel, cuando el variador y alguno de sus componentes requieren cambio o mantenimiento, supervisando: horas de funcionamiento del ventilador de refrigeración, número de revoluciones del motor, horas de funcionamiento del variador, consumo de potencia.

Precios sujetos a cambio sin previo aviso. No incluye IGV.
Contacte a nuestro **Servicio de Atención al Cliente:** Lima: 01 415-5100 Fax: 01 561-3040
o Arequipa: 222-2297 Fax: 423-2839
o visite nuestra página web: www.abb.com.pe

Variador de Velocidad ACS550-01

Grado de protección IP54

Voltaje de entrada 3Ø (Trifásico): 200...240V, ±10%, IP54/ UL TIPO 12							
Referencia para pedido	Modelo	Bastidor	Potencia máxima		Corriente (A)		Precio de lista S/.
			KW	HP	Uso normal	Uso pesado	
3AUA0000004186	ACS550-01-04A6-2+B055	R1	0.75	1	4.6	3.5	2,015.00
3AUA0000004189	ACS550-01-06A6-2+B055	R1	1.1	1.5	6.6	4.6	2,327.00
3AUA0000004192	ACS550-01-07A5-2+B055	R1	1.5	2	7.5	6.6	2,441.00
3AUA0000004195	ACS550-01-012A-2+B055	R1	2.2	3	11.8	7.5	2,633.00
3AUA0000004198	ACS550-01-017A-2+B055	R1	4	5.5	16.7	11.8	2,956.00
3AUA0000004182	ACS550-01-024A-2+B055	R2	5.5	7.5	24.2	16.7	3,672.00
3AUA0000004199	ACS550-01-031A-2+B055	R2	7.5	10	30.8	24.2	4,452.00
3AUA0000004202	ACS550-01-046A-2+B055	R3	11	15	46.2	30.8	5,576.00
3AUA0000004205	ACS550-01-059A-2+B055	R3	15	20	59.4	46.2	6,750.00
3AUA0000004208	ACS550-01-075A-2+B055	R4	18.5	25	74.8	59.4	8,618.00
3AUA0000004211	ACS550-01-088A-2+B055	R4	22	30	88	74.8	10,106.00
3AUA0000004214	ACS550-01-114A-2+B055	R4	30	40	114	88	11,709.00
3AUA0000009151	ACS550-01-143A-2+B055	R6	37	50	143	114	20,141.00
3AUA0000009153	ACS550-01-178A-2+B055	R6	45	60	178	150	24,123.00
3AUA0000009154	ACS550-01-221A-2+B055	R6	55	75	221	178	28,887.00
3AUA0000009155	ACS550-01-248A-2+B055	R6	75	100	248	192	32,645.00

Voltaje de entrada 3Ø (Trifásico): 380...480V, ±10%, IP54/ UL TIPO 12							
Referencia para pedido	Modelo	Bastidor	Potencia máxima		Corriente (A)		Precio de lista S/.
			KW	HP	Uso normal	Uso pesado	
3AUA0000004217	ACS550-01-03A3-4+B055	R1	1.1	1.5	3.3	2.4	2,015.00
3AUA0000004220	ACS550-01-04A1-4+B055	R1	1.5	2	4.1	3.3	2,327.00
3AUA0000004223	ACS550-01-05A4-4+B055	R1	2.2	3	5.4	4.1	2,441.00
3AUA0000004224	ACS550-01-06A9-4+B055	R1	3	4	6.9	5.4	2,633.00
3AUA0000004227	ACS550-01-08A8-4+B055	R1	4	5.5	8.8	6.9	2,956.00
3AUA0000004230	ACS550-01-012A-4+B055	R1	5.5	7.5	11.9	8.8	3,415.00
3AUA0000004233	ACS550-01-015A-4+B055	R2	7.5	10	15.4	1.9	3,971.00
3AUA0000004236	ACS550-01-023A-4+B055	R2	11	15	23	5.4	4,714.00
3AUA0000004239	ACS550-01-031A-4+B055	R3	15	20	31	23	6,074.00
3AUA0000004242	ACS550-01-038A-4+B055	R3	18.5	25	38	31	6,978.00
3AUA0000012787	ACS550-01-045A-4+B055	R3	22	30	45	38	8,403.00
3AUA0000004248	ACS550-01-059A-4+B055	R4	30	40	59	45	9,601.00
3AUA0000004251	ACS550-01-072A-4+B055	R4	37	50	72	59	11,569.00
3AUA0000013240	ACS550-01-087A-4+B055	R4	45	60	87	72	14,114.00
68632994	ACS550-01-125A-4+B055	R5	55	75	125	96	17,073.00
68265312	ACS550-01-157A-4+B055	R6	75	100	157	125	17,875.00
68265339	ACS550-01-180A-4+B055	R6	90	125	180	156	25,709.00
68294487	ACS550-01-195A-4+B055	R6	110	150	205	182	29,343.00
3AUA0000015782	ACS550-01-246A-4+B055	R6	132	180	246	192	35,726.00
3AUA0000026922	ACS550-01-290A-4+B055	R6*	160	220	290	246	42,220.00

Dimensiones

Bastidor	Altura (H) (mm)	Ancho (W) (mm)	Profundidad (D) (mm)	Peso (Kg)
R1	461	213	234	8
R2	561	213	245	11
R3	629	257	254	17
R4	760	257	284	26
R5	775	369	309	42
R6	924	410	423	86

Precios sujetos a cambio sin previo aviso. No incluye IGV.
Contacte a nuestro **Servicio de Atención al Cliente:** Lima: 01 415-5100 Fax: 01 561-3040
o Arequipa: 222-2297 Fax: 423-2839
o visite nuestra página web: www.abb.com.pe

Variadores de Velocidad | **12/23**

Fuente: ABB. Productos de Baja/Media Tensión y Accionamientos – Lista de Precios 2014

ANEXO J

Calidad de Energía

Bancos de Condensadores Automáticos

Serie APC03P

Gabinete: Autosoportado color RAL 7035
Capacitores:
- Tipo seco, autocuración de acuerdo a la IEC 60831-1&2
- Dielectrica: 2.5 Un , entre terminales por 10 sec.a frecuencia nominal
- Sobretensión aceptable: 10% maximo intermitentemente
- Sobrecorriente aceptable: 30% permanentemente

Norma: EN 61921
Cada paso es protegido por interuptor de caja moldeada

Para redes de 440V, 3F, 60HZ

ITEM	KVAR			Dimensiones	Icc (kA)	N° PASOS	Secuencia de pasos	Valor Venta APC03P S/.
	440V	460V	480V	Int. General				
1	160	170	190	T4N320	30	5	(1x12.6 + 2x25 + 2x47.3) kVAR	22,769.00
2	180	200	210	T5N400	30	5	(1x12.6 + 1x25 + 3x47.3) kVAR	23,524.00
3	200	220	240	T5N400	30	6	(1x12.6 + 2x25 + 3x47.3) kVAR	25,000.00
4	230	250	270	T5N630	30	6	(1x12.6 + 1x25 + 4x47.3) kVAR	26,528.00
5	250	270	300	T5N630	30	7	(1x12.6 + 2x25 + 4x47.3) kVAR	28,065.00
6	270	300	320	T5N630	30	7	(1x12.6 + 1x25 + 5x47.3) kVAR	28,604.00
7	300	330	360	T5N630	30	8	(1x12.6 + 2x25 + 5x47.3) kVAR	30,159.00
8	320	350	380	T5N630	30	8	(1x12.6 + 1x25 + 6x47.3) kVAR	31,335.00
9	350	380	420	T6N800	30	9	(1x12.6 + 2x25 + 6x47.3) kVAR	33,411.00
10	370	400	440	T6N800	30	9	(1x12.6 + 1x25 + 7x47.3) kVAR	33,989.00
11	390	430	460	T6N800	30	10	(1x12.6 + 2x25 + 7x47.3) kVAR	35,325.00
12	420	460	500	T6S1000	40	10	(1x12.6 + 1x25 + 8x47.3) kVAR	35,891.00
13	440	480	520	T6S1000	40	11	(1x12.6 + 2x25 + 8x47.3) kVAR	36,885.00
14	480	500	550	T6S1000	40	11	(1x12.6 + 1x25 + 9x47.3) kVAR	37,188.00
15	490	540	580	T6S1000	40	12	(1x12.6 + 2x25 + 9x47.3) kVAR	38,196.00
16	510	560	600	T6S1000	40	12	(1x12.6 + 1x25 + 10x47.3) kVAR	38,516.00

Para redes DE 380V, 3F, 60HZ

ITEM	KVAR		Dimensiones	Icc (kA)	N° PASOS	Secuencia de pasos	Valor Venta APC03P S/.
	380V	400V	Int. General				
1	110	120	T3N250	30	3	(1x12.6 + 2x25.2 + 1x46.6) kVAR	19,629.00
2	130	140	T3N250	30	4	(1x12.6 + 1x25.2 + 2x46.6) kVAR	21,207.00
3	160	160	T4N320	30	5	(1x12.6 + 2x25.2 + 2x46.6) kVAR	24,004.00
4	180	200	T5N400	30	5	(1x12.6 + 1x25.2 + 3x46.6) kVAR	25,186.00
5	200	220	T5N630	30	6	(1x12.6 + 2x25.2 + 3x46.6) kVAR	26,719.00
6	220	240	T5N630	30	6	(1x12.6 + 1x25.2 + 4x46.6) kVAR	26,266.00
7	250	280	T5N630	30	7	(1x12.6 + 2x25.2 + 4x46.6) kVAR	30,610.00
8	270	300	T5N630	30	7	(1x12.6 + 1x25.2 + 5x46.6) kVAR	32,078.00
9	300	330	T5N630	30	8	(1x12.6 + 2x25.2 + 5x46.6) kVAR	33,807.00
10	320	350	T5N630	30	8	(1x12.6 + 1x25.2 + 6x46.6) kVAR	34,666.00
11	340	380	T6N800	30	9	(1x12.6 + 2x25.2 + 6x46.6) kVAR	36,229.00
12	360	400	T6S800	40	9	(1x12.6 + 1x25.2 + 7x46.6) kVAR	36,853.00
13	390	430	T6S1000	40	10	(1x12.6 + 2x25.2 + 7x46.6) kVAR	37,556.00
14	410	450	T6S1000	40	10	(1x12.6 + 1x25.2 + 8x46.6) kVAR	38,059.00
15	440	490	T6S1000	40	11	(1x12.6 + 2x25.2 + 8x46.6) kVAR	39,438.00
16	460	510	T6S1000	40	11	(1x12.6 + 1x25.2 + 9x46.6) kVAR	39,848.00
17	470	520	T6S1000	40	12	(1x12.6 + 2x25.2 + 9x46.6) kVAR	41,012.00
18	500	550	T6S1000	40	12	(1x12.6 + 1x25.2 + 10x46.6) kVAR	41,893.00

Precios sujetos a cambio sin previo aviso. No incluye IGV.
Contacte a nuestro **Servicio de Atención al Cliente:** Lima: 01 415-5100 Fax: 01 561-3040
o Arequipa: 222-2297 Fax: 423-2639
o visite nuestra página web: www.abb.com.pe

Fuente: ABB. Productos de Baja/Media Tensión y Accionamientos – Lista de Precios 2014

ANEXO K

Factor para el cálculo de compensación reactiva

Antes de la compensación		Especificación de kVAr de una batería de condensadores que se van a instalar por kW de carga para mejorar *cos* φ (el factor de potencia) o *tan* φ con un valor determinado												
		tan φ	0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0
tan φ	*cos* φ	*cos* φ	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40		1,557	1,691	1,805	1,832	1,861	1,895	1,924	1,959	1,998	2,037	2,085	2,146	2,288
2,22	0,41		1,474	1,625	1,742	1,769	1,798	1,831	1,840	1,896	1,935	1,973	2,021	2,082	2,225
2,16	0,42		1,413	1,561	1,681	1,709	1,738	1,771	1,800	1,836	1,874	1,913	1,961	2,022	2,164
2,10	0,43		1,356	1,499	1,624	1,651	1,680	1,713	1,742	1,778	1,816	1,855	1,903	1,964	2,107
2,04	0,44		1,290	1,441	1,558	1,585	1,614	1,647	1,677	1,712	1,751	1,790	1,837	1,899	2,041
1,98	0,45		1,230	1,384	1,501	1,532	1,561	1,592	1,628	1,659	1,695	1,737	1,784	1,846	1,988
1,93	0,46		1,179	1,330	1,446	1,473	1,502	1,533	1,567	1,600	1,636	1,677	1,725	1,786	1,929
1,88	0,47		1,130	1,278	1,397	1,425	1,454	1,485	1,519	1,532	1,588	1,629	1,677	1,758	1,881
1,83	0,48		1,076	1,228	1,343	1,370	1,400	1,430	1,464	1,497	1,534	1,575	1,623	1,684	1,826
1,78	0,49		1,030	1,179	1,297	1,326	1,355	1,386	1,420	1,453	1,489	1,530	1,578	1,639	1,782
1,73	0,50		0,982	1,232	1,248	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732
1,69	0,51		0,936	1,087	1,202	1,230	1,257	1,291	1,323	1,357	1,395	1,435	1,483	1,544	1,686
1,64	0,52		0,894	1,043	1,160	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644
1,60	0,53		0,850	1,000	1,116	1,144	1,171	1,205	1,237	1,271	1,309	1,349	1,397	1,458	1,600
1,56	0,54		0,809	0,959	1,075	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559
1,52	0,55		0,769	0,918	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519
1,48	0,56		0,730	0,879	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480
1,44	0,57		0,692	0,841	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442
1,40	0,58		0,665	0,805	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405
1,37	0,59		0,618	0,768	0,884	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368
1,33	0,60		0,584	0,733	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334
1,30	0,61		0,549	0,699	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299
1,27	0,62		0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63		0,483	0,633	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233
1,20	0,64		0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200
1,17	0,65		0,419	0,569	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,007	1,169
1,14	0,66		0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67		0,358	0,508	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68		0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
1,05	0,69		0,299	0,449	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049
1,02	0,70		0,270	0,420	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,769	0,811	0,878	1,020
0,99	0,71		0,242	0,392	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992
0,96	0,72		0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
0,94	0,73		0,186	0,336	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936
0,91	0,74		0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
0,88	0,75		0,132	0,82	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882
0,86	0,76		0,105	0,255	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855
0,83	0,77		0,079	0,229	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829
0,80	0,78		0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803
0,78	0,79		0,026	0,176	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776
0,75	0,80			0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750
0,72	0,81			0,124	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724
0,70	0,82			0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,698
0,67	0,83			0,072	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,530	0,672
0,65	0,84			0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645
0,62	0,85			0,020	0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,417	0,478	0,620
0,59	0,86				0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593
0,57	0,87				0,083	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,424	0,567
0,54	0,88				0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538
0,51	0,89				0,028	0,059	0,086	0,117	0,149	0,183	0,230	0,262	0,309	0,369	0,512
0,48	0,90					0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484

Fuente: Guía de diseño de instalaciones eléctricas – Schneider Electric España S.A. 2 Ed. 2008

ANEXO L

Resumen de la CLAUSULA 4 de la norma Internacional ISO 50001:2011 SGEn.

4. REQUISITOS DEL SISTEMA DE GESTION DE LA ENERGIA

4.1. REQUISITOS GENERALES

Los requisitos generales establecen las bases para todo el sistema de gestión de la energía (SGEn). Se debe considerar cómo se va a hacer frente a todos los requisitos del SGEn, empezando por desarrollar una estrategia así como definir y documentar sus alcances.

La implementación de un SGEn está destinada a dar lugar a una mejora del desempeño energético, la norma está basada en la premisa de que la organización hará periódicamente las revisiones y evaluaciones para identificar las oportunidades de mejora y su implementación.

El concepto de desempeño energético incluye el uso de la energía, la eficiencia energética y el consumo de la energía. La organización puede elegir entre una amplia gama de actividades de desempeño energético, por ejemplo la organización podría reducir la demanda máxima, utilizar la energía sobrante o residuos, o mejorar el funcionamiento de sus sistemas, procesos o equipos. No requiere procesos o procedimientos específicos distintos aparte de los que han sido definidos y documentados en los alcances del SGEn.

Requisitos del estándar

La organización debe:

a. Establecer, documentar, implementar, mantener y mejorar el sistema de gestión de energía, en conformidad con los requisitos de esta norma.

b. Definir y documentar los alcances y los límites del SGEn.

c. Determinar cómo se va a cumplir con los requisitos de esta norma, con el fin de lograr la mejora continua de su desempeño energético en su SGEn.

4.2. RESPONSABILIDAD DE LA GESTIÓN

4.2.1 Alta dirección

La alta dirección o su representante, cuando se ha comunicado a la organización, puede apoyar el SGEn a través de la participación de los trabajadores en actividades que involucren, el empoderamiento, la motivación, el reconocimiento, la capacitación y los premios. Al comunicar las metas a largo plazo de la gestión de energía, los temas pueden incluir: las fuentes de energía, desempeño energético y las mejoras de eficiencia energética en las actividades de planificación.

Requisitos del estándar

La alta gerencia debe demostrar el compromiso para apoyar al SGEn y mejorar continuamente su eficacia a través de:

a. Definir, establecer, implementar, y mantener una política energética.

b. Nombrar un representante y aprobar la formación de un equipo de gestión de energía.

c. Proporcionar los recursos necesarios para establecer, implementar, mantener y mejorar el SGEn, dando como resultado el desempeño energético, estos incluyen a los recursos humanos, los conocimientos especializados, la tecnología y los recursos financieros.

d. Identificar los alcances y las limitaciones para ser dirigidas por el SGEn.

e. Comunicar la importancia del SGEn en la organización.

f. Asegurar que los objetivos y metas de energía han sido establecidos.

g. Asegurar que los indicadores energéticos son los apropiados para la organización.

h. Tener en cuenta el desempeño energético en la planificación a largo plazo.

i. Asegurar que los resultados son medidos y reportados en determinados intervalos.

j. Llevar a cabo revisiones por la dirección.

4.2.2 Funciones, responsabilidad y autoridad

La implementación exitosa de un SGEn pide compromiso por parte de todas las personas que trabajan para la organización o en su nombre. Las funciones y responsabilidades del SGEn no deben ser vistos como restringidas porque también puede cubrir otras áreas de la organización. Este compromiso debería comenzar en los niveles más altos, por consiguiente, la alta dirección debe establecer la política energética de la organización y asegurarse de que SGEn está implementada.

Como parte de este compromiso**,** se debe designar a un representante específico con autoridad y responsabilidades definidas para implementar el SGEn, puede haber más de un representante designado dependiendo del tipo, tamaño de la organización**.** La administración también debe garantizar los recursos apropiados, para asegurar que el SGEn se establece, implementa y mantiene. Es importante que las funciones y responsabilidades estén bien definidas, documentadas y que sean comunicadas a todas las personas que trabajan para o en nombre de la organización.

Requisitos del estándar

El representante designado debe de poseer las habilidades y competencias apropiadas, quien independientemente de otras responsabilidades, tiene la responsabilidad y autoridad para:

a. Asegúrese de que el SGEn está establecido, implementado, mantenido y continuamente mejorado en acuerdo con esta norma internacional.

b. Identificar al personal, que posea un apropiado conocimiento de sistemas de gestión, para trabajar con el representante en apoyo de las actividades de SGEn.

c. Informar o reportar a la alta dirección sobre el desempeño del SGEn.

d. Asegúrese de que la planificación de actividades del SGEn está diseñado para sostener la política energética de la organización.

e. Definir y comunicar las responsabilidades y competencias con el fin de facilitar un eficaz SGEn.

f. Determinar los criterios y métodos necesarios para asegurarse de que tanto la operación y el control de SGEn son eficaces.

g. Promover el conocimiento de la política energética y los objetivos en todos los niveles de la organización

4.3. POLITICA ENERGTICA

La política energética es la que impulsa la implementación y la mejora en el SGEn, el desempeño energético dentro de sus alcances y límites. La política puede ser una breve declaración (visión general de la dirección) que los miembros de la organización pueden fácilmente entender y aplicar a sus actividades laborales. La difusión de la política energética, se puede utilizar para manejar el comportamiento de la organización.

Requisitos del estándar

La política energética deberá indicar el compromiso de la organización para lograr la mejora del desempeño energético. La alta dirección debe definir la política energética y asegurarse de que:

a. Es apropiada a la naturaleza y escala en función del uso y consumo de la energía.

b. Incluye el compromiso de continuar la mejora del desempeño energético.

c. Incluye el compromiso de garantizar la disponibilidad de la información y de los recursos necesarios para lograr los objetivos y metas.

d. Incluye el compromiso de cumplir con requisitos legales aplicables y otros requisitos que la organización suscriba relacionados con el uso, el consumo y la eficiencia de la energía.

e. Proporciona el marco para ajustar y revisar los objetivos y metas de la energía.

f. Apoyar la compra de productos y servicios eficientes así como el diseño para la mejora del desempeño energético.

g. Que este documentado y comunicado a todos los niveles dentro de la organización.

h. Sea revisada periódicamente y actualizada cuando sea necesario.

4.4. PLANIFICACION ENERGETICA

Esta sección de la norma se centra en el desempeño energético de la organización así como en las herramientas para mantener y mejorar continuamente el desempeño energético.

Benchmarking, es el proceso de recopilación y análisis, relacionados con los datos del desempeño energético de actividades comparables, con el propósito de evaluar y comparar el rendimiento entre o dentro de las entidades. Existen diferentes tipos, que van desde el benchmarking interno con el fin de poner de relieve las buenas prácticas dentro de la organización, el benchmarking externo para establecer el mejor desempeño o rendimiento en la industria, instalación, producto o servicio específico en el mismo campo o sector. El proceso del benchmarking puede ser aplicado a cualquiera de todos estos elementos, proporcionado datos relevantes y precisos.

4.4.1 Generalidades

Esta sección se basa en la necesidad de establecer procesos de planificación energética.

Requisitos del estándar

La organización debe realizar y documentar un proceso de planificación energética, la cual deberá ser coherente con la política energética y deberá dar lugar a actividades que mejoren continuamente el desempeño energético. La planificación energética deberá incluir una revisión de las actividades de la organización que pueden afectar su desempeño energético.

La figura 1 muestra un diagrama conceptual destinado a mejorar comprensión del proceso de planificación energética, este diagrama no está destinado a representar los detalles de una organización ya que puede haber otros detalles específicos para la organización o para circunstancias particulares.

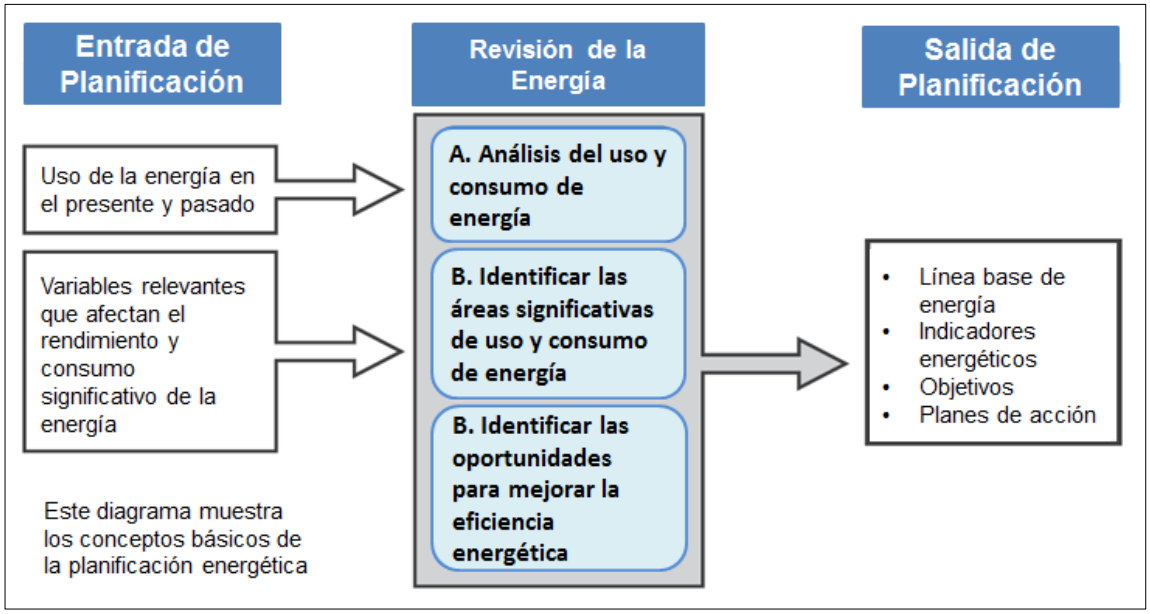


Figura 1: Esquema del proceso de planificación energética (*ISO 50001:2011, Sección 4.4)*

4.4.2 Requisitos legales y otros

Los requisitos legales aplicables, son las exigencias internacionales, nacionales, regionales y locales que se aplican para alcanzar el sistema de gestión de la energía. Los requisitos legales pueden incluir un reglamento o una ley nacional de conservación de la energía, otros requisitos también incluyen acuerdos con clientes, principios voluntarios o códigos de prácticas, programas y otros. La organización debe identificar los requisitos legales que se aplican a su uso de la energía.

1. Estos pueden incluir:

a. Requisitos jurídicos nacionales e internacionales.

b. Requisitos jurídicos estatales, provinciales o departamentales.

c. Requisitos legales del gobierno local.

2. Otros requisitos que la organización puede suscribir y se aplica a:

a. Acuerdos con las autoridades públicas.

b. Acuerdos con clientes.

c. Directrices no reglamentarios.

d. Principios o códigos voluntarios de conducta.

e. Acuerdo con asociaciones comerciales.

f. Acuerdos con grupos comunitarios o con organizaciones no gubernamentales.

g. Los compromisos públicos de la organización o con su organización matriz.

h. Requisitos corporativos o de empresa.

La determinación de la forma jurídica y otros requisitos que se aplican al SGEn de una organización por lo general se lleva a cabo en el proceso de identificación de estas necesidades. Puede que no sea necesario, por lo tanto, tener un procedimiento separado o adicional con el fin de hacer esta determinación.

Requisitos del estándar

La organización debe identificar, implementar y tener acceso a los requisitos legales aplicables y a otros requisitos que la organización suscriba relacionados con el uso, consumo y eficiencia de su energía, además de determinar cómo estos requisitos son aplicados y se aseguraran que estos y otros requisitos legales a los que se suscriben son considerados en el establecimiento, implementación y mantenimiento del SGEn. Los requisitos legales serán revisados en intervalos definidos.

Subsección 4.4.3 Revisión de la Energía

El proceso de identificación y evaluación del uso de la energía debe llevar a la organización a definir las áreas significativas en el uso de energía e identificar las oportunidades de mejora del desempeño energético.

Las fuentes potenciales de energía pueden incluir fuentes convencionales que no han sido utilizadas previamente por la organización. Las fuentes alternativas de energía pueden incluir combustibles fósiles o no fósiles**.** La actualización de la revisión de la energía significa la actualización de la información relacionada con el análisis y relevancia en las oportunidades de mejora del desempeño energético.

Una auditoría o evaluación de la energía comprende un examen detallado del desempeño energético de una organización, de un proceso, o de ambos, es típicamente basada en la medición y la observación apropiada de los resultados reales del desempeño energético.

En una auditoría o evaluación generalmente incluye información detallada sobre el consumo y el rendimiento actual de una organización y pueden ir acompañados de una serie de recomendaciones para la mejora, clasificados en términos de desempeño energético.

Las auditorías energéticas se planifican y llevan a cabo como parte de la identificación y priorización de oportunidades para mejorar el desempeño energético.

Requisitos del estándar

La organización debe desarrollar, registrar y mantener una revisión de la energía, se deberá documentar la metodología y los criterios utilizados para desarrollar la revisión de la energía**.**

Para desarrollar la revisión de la energía, la organización deberá:

a. Analizar el uso y el consumo de la energía basadas en las mediciones y otros datos, es decir:

   i. Identificar las fuentes de energía actuales.

ii. Evaluar el uso y el consumo de energía en el pasado y el presente.

b. basado en el análisis del uso y consumo de energía, identificar las zonas de significativas del uso de la energía, es decir**:**

i. Identificar las instalaciones, equipos, sistemas, procesos y personal que trabaja para, o en nombre de la organización que afectan de manera significativa en el uso y consumo de energía.

ii. Identificar otras variables relevantes que afectan significativamente en el uso de energía.

iii. Determinar el rendimiento energético actual de las instalaciones, equipos, sistemas y procesos a fin de identificar significativamente en el uso de energía.

iv. Estimar el uso y consumo futuro de la energía.

c. Identificar, priorizar y registrar las oportunidades para la mejora de la eficiencia energética.

Nota: Las oportunidades pueden relacionarse con potencial fuentes de energía, uso de energías renovables, o de otro tipo de fuentes alternativas de energía, como la energía de residuos.

La revisión de la energía se actualizará en intervalos definidos, así como en respuesta a cambios importantes en las instalaciones, equipos, sistemas o procesos.

4.4.4 Línea base de la Energía

La línea de base de energía se mantiene y registra como un medio para que la organización determine los registros del período de mantenimiento, "período de datos adecuado", lo que significa que la organización regula los requisitos o las variables que afectan el uso y el consumo de la energía.

Las variables pueden incluir el clima, estaciones, ciclos de actividad empresarial y otras condiciones, en los ajustes en la línea de base también se consideran el mantenimiento y los requisitos que están definidos en esta norma.

Requisitos del estándar

La organización debe establecer una línea(s) de base de energía, utilizando la información inicial de los registros de energía**,** considerando un período de datos adecuado al uso y el consumo de energía de la organización. Cambios en la eficiencia energética se medirá en contra de la línea(s) de base de energía.

Los ajustes a la línea de base(s) se efectuarán en el caso de:

a. Los indicadores de eficiencia energética no reflejan el uso y consumo de la energía en la organización.

b. Los principales cambios en el proceso, patrones de operación o sistemas de energía.

c. Cambios de acuerdo a métodos predeterminados.

La línea(s) de base debe ser mantenida y registrada.

4.4.5 Indicador(es) de eficiencia energética (IEE)

El IEE puede ser un parámetro simple, una relación simple o un modelo complejo**.** Los IEEs pueden incluir el consumo de energía por unidad de tiempo**,** el consumo de energía por unidad de producción y modelos variables. La organización puede elegir IEE que informen de la operación, del desempeño energético y que pueden ser actualizadas cuando las actividades de negocio o la líneas de base cambien y que afectan a la relevancia del IEE, según sea el caso.

Requisitos del estándar

La organización debe identificar los IEE apropiados para el monitoreo y la medición del desempeño energético. La metodología para determinar y actualizar los IEE se registrará y se revisará periódicamente. Los IEE deben ser revisados y comparados con la línea(s) de base de energía según sea apropiado.

Se puede considerar indicadores como:

a. Número de empleados : *kWh/Trabajadores*

b. Producción : *kWh/Ton, kWh/USD, kWh/1000 Piezas*

c. Consumo por días : kWh/días de operación

d. Energía total consumida : *kWh*

4.4.6 Objetivos de energía, metas de energía y planes de acción del SGEn

En adición a los planes de acción centrada en lograr las mejoras específicas en el desempeño energético**,** una organización puede tener planes de acción que se centran en logros de mejoras en la gestión de energía global o mejoras en los procesos del propio SGEn.

Los planes de acción para este tipo de mejoras también pueden indicar cómo la organización verificará los resultados logrados por el plan de acción.

Una organización puede tener un plan de acción diseñado para lograr una mayor concienciación de los empleados y contratistas en el comportamiento de la gestión energética, el grado en que el plan de acción logra el aumento de la conciencia y otros resultados deben ser verificados utilizando un método determinado por la organización y documentado en el plan de acción.

La creación y el uso de uno o más planes de acción son importantes para la implementación exitosa de un SGEn. Cada plan de acción debe describir cómo los objetivos y metas de la organización serán alcanzados, incluyendo escalas de tiempo, los recursos necesarios y el personal responsable para la ejecución del plan(es) de acción. El plan de acción puede subdividirse para hacer frente a los elementos específicos de las operaciones de la organización.

Requisitos del estándar

La organización debe establecer, implementar y mantener objetivos y metas de energía documentados en las funciones relevantes**,** niveles, procesos o instalaciones dentro de la organización. Plazos se establecerán para lograr los objetivos y metas.

Los objetivos y metas deben ser consecuentes con la política energética y las metas deben ser consecuentes con los objetivos. Al establecer y revisar los objetivos y metas, la organización debe tener en cuenta los requisitos legales y otros requisitos significativos en el uso de la energía y las oportunidades para mejorar el desempeño energético. Además, se debe considerar lo financiero, condiciones operativas de negocio, las opciones tecnológicas y las opiniones de las partes interesadas.

La organización debe establecer, implementar y mantener planes de acción para la lograr de sus objetivos y metas, los planes de acción deben incluir:

a. Designación de la responsabilidad.

b. Los medios y plazos que se quieren alcanzar para los objetivos individuales.

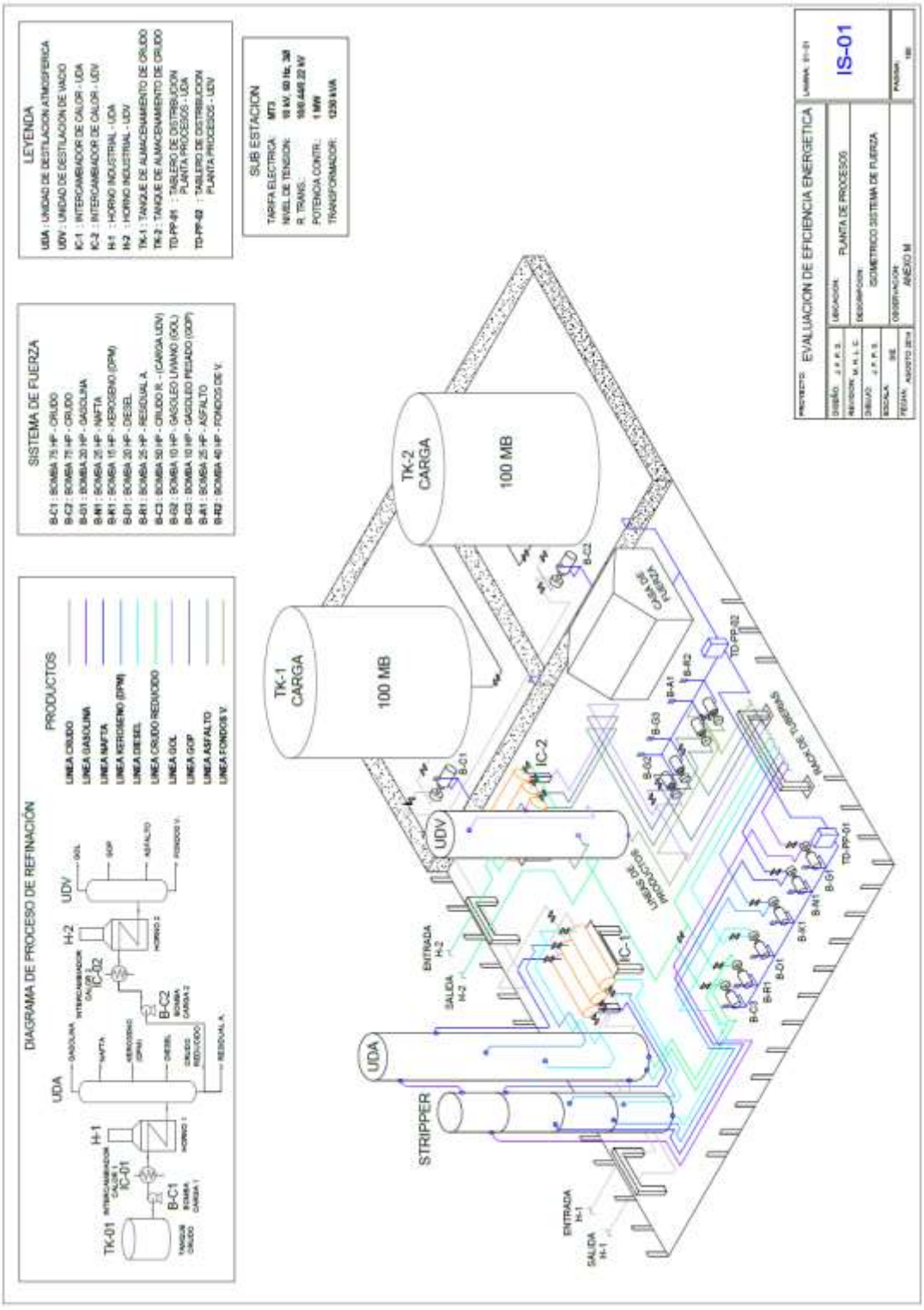
c. Una declaración del método por el cual una mejora de la eficiencia energética deberá ser verificada.

d. Una declaración del método de verificación de los resultados.

e. Los planes de acción deberán ser documentados y actualizados en intervalos definidos.

Fuente: UL.DQS Inc. 2011, Implementing ISO50001, Energy Management Standard, Pagina 17.

ANEXO M


LEYENDA
UDA : UNIDAD DE DESTILACION ATMOSFERICA
UDV : UNIDAD DE DESTILACION DE VACIO
IC-1 : INTERCAMBIADOR DE CALOR - UDA
IC-2 : INTERCAMBIADOR DE CALOR - UDV
H-1 : HORNO INDUSTRIAL - UDA
H-2 : HORNO INDUSTRIAL - UDV
TK-1 : TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO
TK-2 : TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO
TD-PP-01 : TABLERO DE DISTRIBUCION PLANTA PROCESOS - UDA
TD-PP-02 : TABLERO DE DISTRIBUCION PLANTA PROCESOS - UDV
SUB ESTACION
TARIFA ELECTRICA: MT3
NIVEL DE TENSION: 10 kV, 60 Hz, 3Ø
R. TRANS.: 10/0.4/0.22 kV
POTENCIA CONTR.: 1 MW
TRANSFORMADOR: 1250 kVA
SISTEMA DE FUERZA
B-C1 : BOMBA 75 HP - CRUDO
B-C2 : BOMBA 75 HP - CRUDO
B-G1 : BOMBA 20 HP - GASOLINA
B-N1 : BOMBA 25 HP - NAFTA
B-K1 : BOMBA 15 HP - KEROSENO (DPM)
B-D1 : BOMBA 20 HP - DIESEL
B-R1 : BOMBA 25 HP - RESIDUAL A
B-C3 : BOMBA 50 HP - CRUDO R. - (CARGA UDV)
B-G2 : BOMBA 10 HP - GASOLEO LIVIANO (GOL)
B-G3 : BOMBA 10 HP - GASOLEO PESADO (GOP)
B-A1 : BOMBA 25 HP - ASFALTO
B-R2 : BOMBA 40 HP - FONDOS DE V.
DIAGRAMA DE PROCESO DE REFINACIÓN
PRODUCTOS
LINEA CRUDO
LINEA GASOLINA
LINEA NAFTA
LINEA KEROSENO (DPM)
LINEA DIESEL
LINEA CRUDO REDUCIDO
LINEA GOL
LINEA GOP
LINEA ASFALTO
LINEA FONDOS V.
UDA
UDV
H-1
H-2
IC-01
IC-02
B-C1
B-C2
TK-01
TK-1 CARGA
100 MB
TK-2 CARGA
100 MB
IC-1
IC-2
STRIPPER
EVALUACION DE EFICIENCIA ENERGETICA
IS-01
PLANTA DE PROCESOS
ISOMETRICO SISTEMA DE FUERZA
ANEXO M